Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

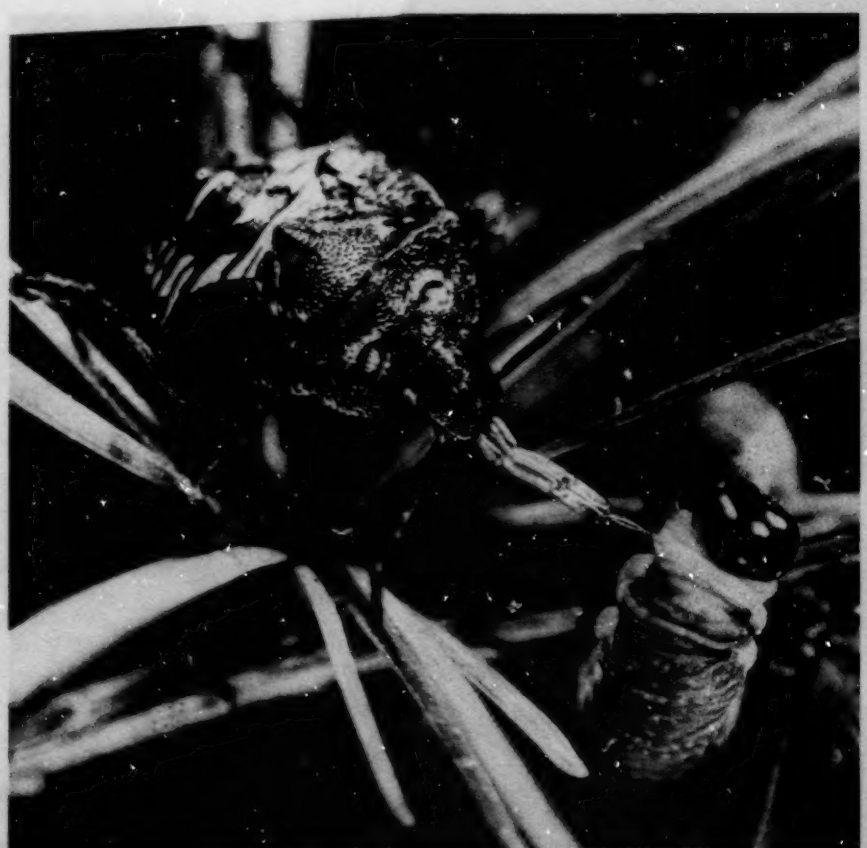
# Le contrôle biologique au Service canadien des forêts

par M.A. Hulme

DPC-X-11F

Environment Canada Environnement Canada

0084644C DEST PVM EXCH COPY 03
SD 13 I5314
VOL ISS 11 F
RAPPORT D'INFORMATION DPC-X



84-4155/

Photo de couverture: Prédateur pentatomidé s'alimentant sur une larve de tenthrède

# Le contrôle biologique au Service canadien des forêts

par

M.A. Hulme

DPC-X-11F
Service canadien des forêts
Ministère de l'Environnement

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1982
N° de catalogue Fo46-13/11-1982F
ISSN 0705-324X
ISBN 0-662-91679-4

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Environnement Canada
Centre de distribution
151, rue Jean-Proulx
Hull (Québec)
K1A 1C7

This publication is also available in English under the title *Biological Control in the Canadian Forestry Service*

## Avant-propos

Les lignes qui suivent traitent de la recherche sur la lutte biologique contre les ravageurs forestiers au Service canadien des forêts. Cette analyse a été entreprise afin de déterminer l'avenir de ce type de recherche au service. Le rapport préliminaire a été examiné en profondeur par tous les laboratoires du service, et le rapport final a été approuvé par le comité des directeurs d'établissement. Le rapport final comporte 43 recommandations. La responsabilité de voir à ce qu'on donne suite à ces recommandations incombe au directeur de la recherche et du développment, lequel relève directement du directeur général des recherches et des services techniques.

J.H. Cayford
Directeur général intérimaire
Recherches et Services techniques
le 30 juin 1982

## Abréviations

Abréviations utilisées dans cette publication

| | |
|---|---|
| A-P | - Années-personnes |
| B.t. | - *Bacillus thuringiensis* |
| CANUSA | - Canada–États-Unis (le programme CANUSA contre les tordeuses des bourgeons de l'épinette) |
| CRFGL | - Centre de recherches forestières des Grands lacs |
| CRFL | - Centre de recherches forestières des Laurentides |
| CRFM | - Centre de recherches forestières des Maritimes |
| CRFN | - Centre de recherches forestières du Nord |
| CRFP | - Centre de recherches forestières du Pacifique |
| CRFT-N | - Centre de recherches forestières de Terre-Neuve |
| ICLB | - Institut du Commonwealth pour la lutte biologique |
| IFNP | - Institut forestier national de Petawawa |
| IRRF | - Institut pour la répression des ravageurs forestiers |
| RIMA | - Relevé des insectes et des maladies des arbres |
| SCF | - Service canadien des forêts |

## Table des matières


| | | Page |
|---|---|---|
| | Résumé | vii |
| 1. | Objectifs de l'étude | 1 |
| 2. | La lutte biologique contre les ravageurs des forêts: définition | 1 |
| | i) Portée | 1 |
| | ii) Objectif de la lutte biologique | 2 |
| 3. | Place de la lutte biologique dans la lutte contre les ravageurs | 2 |
| | i) Types de lutte contre les ravageurs | 3 |
| | ii) Choix des méthodes de lutte | 3 |
| 4. | Économie et lutte biologique | 4 |
| | i) Comparaisons entre les avantages et le coût des recherches | 4 |
| | ii) Coûts de production | 5 |
| 5. | Place de la lutte biologique dans la lutte intégrée contre les ravageurs | 6 |
| 6. | Évaluations récentes de recherches en matière de lutte biologique faites par des organismes de l'extérieur | 7 |
| 7. | Le succès d'ensemble et le potentiel de la lutte biologique | 9 |
| 8. | La lutte biologique et le SCF | 11 |
| | i) Justification | 11 |
| | ii) Le SCF et l'ICLB | 12 |
| | iii) Le SCF et Agriculture Canada | 12 |
| | iv) La lutte biologique au SCF et au U.S. Forest Service | 12 |
| | v) Les victoires du SCF en matière de lutte biologique | 13 |
| | vi) Le SCF et les installations de production | 14 |
| 9. | Travaux actuels du SCF en matière de lutte biologique | 15 |
| | i) Ventilation par organismes | 15 |
| | ii) Ventilation par agents de lutte | 15 |
| | iii) Ventilation par ravageurs cibles | 16 |
| | iv) Ventilation selon l'âge des chercheurs | 17 |

v) Pourcentage des travaux de recherche du SCF sur la protection des forêts qui sont consacrés à la lutte biologique 17

10. Planification des travaux à venir en matière de lutte biologique au SCF 18

i) Expérience de planification antérieure 18
ii) Stratégies pour l'avenir 19

11. Recommandations pour renforcer le programme de lutte biologique du SCF 28

i) Organisation générale du programme 28
ii) Les agents de lutte utilisés dans le cadre du programme 29
iii) Ravageurs visés 32
iv) Nouvelle répartition possible des ressources 33

12. Tableaux 37

13. Bibliographie 48

## Résumé

1. La lutte biologique pratiquée au moyen d'organismes vivants est l'une des cinq approches reconnues en matière de lutte contre les ravageurs des forêts. Les autres sont la mise en quarantaine, la plantation d'arbres résistant aux ravageurs, la sylviculture et l'épandage de pesticides chimiques. Au moment de choisir un moyen de lutte, trois questions principales se posent: Ce moyen est-il efficace? Combien coûte-t-il? Peut-il être accepté par la société?

2. Les produits chimiques ont dominé les autres moyens de lutte, ils servent donc de norme aux fins de comparaison. Même s'ils sont efficaces, ils ont aussi des désavantages: leur effet est de courte durée après chaque application, ils peuvent avoir plusieurs effets secondaires nocifs et ils sont mal acceptés par la société. En outre, si l'on préfère comme stratégie obtenir une certaine croissance plutôt que simplement conserver les arbres en vie, il faudra utiliser plus de produits chimiques.

3. Dernièrement, des organismes étrangers ont manifesté beaucoup d'intérêt pour l'intensification de la lutte biologique, particulièrement dans le contexte de la lutte intégrée contre les ravageurs, principalement pour diminuer notre degré de dépendance à l'égard des insecticides chimiques. La lutte biologique s'effectue plus lentement que la lutte chimique, ses effets peuvent être plus difficiles à surveiller et son mécanisme d'action peut être complexe. Toutefois, l'effet peut être pratiquement permanent lorsque l'agent en cause se perpétue par lui-même. Un succès remarquable dans ce domaine a été remporté contre le diprion européen de l'épinette, un insecte qui, dans les années 20, a fait des ravages comparables à ceux de la tordeuse des bourgeons de l'épinette aujourd'hui. (En fait, il est intéressant de comparer ici les succès remportés contre les deux plus importants ravageurs des forêts de l'est du Canada au cours du présent siècle.)

4. Il existe peu d'analyses comparatives des coûts de la lutte chimique et de la lutte biologique. Lorsque des données sont disponibles, le rapport avantages/coût de la lutte biologique est impressionnant.

5. Les recherches menées par le SCF ont abouti parfois à des victoires spectaculaires dans le domaine de la lutte biologique, par exemple contre la tenthrède du mélèze, la tenthrède importée du pin, le diprion européen de l'épinette, le papillon satiné, le porte-case du mélèze, l'arpenteuse tardive, le diprion de LeConte, la tenthrède du pin d'Écosse, le diprion de Swaine et la chenille à houppes du Douglas. Dans certains cas, les agents de lutte ont la propriété de se perpétuer eux-mêmes alors que d'autres exigent de nouvelles applications périodiques. On a obtenu un certain succès (sans doute limité par les problèmes de traitement) dans la lutte à court terme contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Il est également possible de lutter contre la livrée des forêts et d'autres lépidoptères (papillons diurnes et nocturnes). Les succès contre les scolytes de l'écorce sont peu nombreux principalement parce qu'on a fait peu d'efforts dans ce sens. Dans le présent rapport, nous soulignons également les succès remportés dans l'ensemble par la lutte biologique.

6. Un cinquième seulement du budget du SCF pour les recherches en matière de protection des forêts (en excluant le RIMA) est consacré à la lutte biologique et plus de trois quarts des travaux portent sur des organismes responsables de maladies chez les insectes – principalement des virus, puis des bactéries et enfin des champignons. Peu de ressources sont consacrées à la lutte pratiquée au moyen de prédateurs et d'insectes parasites malgré le succès déjà obtenu avec ces agents, sans une homologation coûteuse et incertaine par surcroît. Au Canada, on n'a jamais essayé de lutter contre des ravageurs en inondant littéralement le terrain d'insectes parasites, une technique appliquée avec succès en Russie et en Chine.

7. Les ressources que le SCF consacre à la recherche sur la lutte biologique atteignent presque 50 années-personnes: plus de 60 % sont consacrées à la recherche sur les maladies des insectes à l'IRRF; le reste des ressources, divisées à peu près également entre les maladies et les prédateurs ainsi que les insectes parasites, est réparti de façon inégale dans les différents centres de recherches du pays. On accorde particulièrement peu de ressources aux régions desservies par le CRFN, le CRFM et le CRFT-N si l'on considère la répartition des principaux ravageurs des forêts. La part, en pourcentage, de la lutte biologique dans les recherches sur la protection des forêts est encore plus faible (moins de 10 %) au CRFL et au CRFP si l'on compare ces centres au CRFGL où 20 % de la recherche porte sur la lutte

biologique, ce qui semble plus raisonnable étant donné les succès déjà remportés, les connaissances actuelles et les possibilités pour l'avenir.

8. Des recommandations sont formulées au sujet de l'amélioration de la planification et de l'organisation du programme de lutte biologique, de l'étude des agents de lutte sous certains aspects particuliers, et des ravageurs qui devraient être visés en priorité. Voici les principales:

- Que les recherches en matière de lutte biologique soient augmentées et passent de 20 à au moins 25 % dans le domaine de la protection des forêts; qu'elles portent principalement sur des possibilités reconnues contre de grands ravageurs et qu'elles soient intégrées aux travaux de sylviculture dans le cadre des programmes de gestion forestière.
- Que les insectes visés en priorité soient la tordeuse des bourgeons de l'épinette et les scolytes de l'écorce. Dans le cas de la tordeuse, contre laquelle on ne prévoit pas de moyen de lutte à long terme, il faudrait mettre l'accent sur des prédateurs et des insectes parasites qui n'ont pas encore fait l'objet d'essais appropriés ainsi que sur les maladies à virus.
- Qu'on accorde plus d'attention à la sécurité et au transfert des connaissances techniques.
- Qu'on redonne au SCF les ressources pour poursuivre ses travaux sur les prédateurs et les insectes parasites de préférence en concentrant ces ressources dans deux équipes, une dans l'est du Canada et l'autre dans l'Ouest.
- Qu'on fasse des essais pratiques de libérations massives de prédateurs ou d'insectes parasites.
- Qu'on mette l'accent sur les recherches bactériologiques pour fournir aux gestionnaires forestiers un moyen de répression effectif de la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui soit plus sûr pour la lutte à court terme.
- Qu'on regroupe et diminue les travaux sur les virus des tenthrèdes et des diprions et qu'on demande des homologations en particulier pour le virus de la chenille à houppes du Douglas.
- Que les recherches sur les maladies fongiques soient axées sur la production et les essais sur le terrain.

# La lutte biologique et le Service canadien des forêts

## 1. Objectifs de l'étude

Le présent document passe en revue le programme actuel du SCF en matière de lutte biologique contre les ravageurs des forêts dans le but de proposer des modifications susceptibles de le renforcer au cours des cinq prochaines années.

## 2. La lutte biologique contre les ravageurs des forêts: définition

Dans le contexte du présent document, la lutte biologique est l'utilisation directe d'organismes vivants pour limiter le nombre de ravageurs des forêts.

i) Portée

a) Ravageurs: Les insectes sont les principaux ravageurs des forêts qui doivent être pris en considération. Il semble peu probable qu'on puisse entreprendre une lutte d'envergure contre les champignons sur une base pratique au cours des dix prochaines années. L'utilisation de *Peniophora gigantea* pour éliminer la maladie du rond (*Fomes annosus*) chez le pin a remporté un succès limité; il s'agit toutefois de la plus grande réussite en foresterie jusqu'à présent dans les régions à climat tempéré (Rishbeth, 1971). On a également utilisé *Trichoderma viride*. Ce sujet a été étudié par Baker et Cook (1974) et plus récemment par Wicker (1978) et Baker (1980). Il y a toutefois des moyens de lutte prometteurs, par exemple l'utilisation de souches hypovirulentes de l'agent pathogène contre la brûlure du châtaignier (Anagnostakis, 1981) ou l'injection de la bactérie *Pseudomonas syringae* contre la maladie hollandaise de l'orme (Strobels, 1981).

La lutte contre le faux gui semble marginale: *Nectria macrospora* pourrait freiner la reproduction du faux gui de la pruche, mais aucune méthode sûre pour inoculer ce champignon n'a encore été découverte (Smith et Funk, 1980).

b) Méthodes de lutte: La lutte contre les insectes au moyen d'organismes vivants comprend l'utilisation de parasites (organismes entomopathogènes et parasitoïdes) et de prédateurs. Les méthodes de manipulation sont de trois genres, soit a) l'inoculation et la propagation naturelle d'agents exotiques de lutte, b) la stimulation d'agents de lutte indigènes soit par la gestion de l'environnement ou par l'élevage et la libération d'agents de lutte pour accroître leur population et c) l'invasion massive du milieu par l'agent de lutte en mettant en valeur son pouvoir de lutte immédiat plutôt que sa capacité de se reproduire et de se maintenir.

La lutte contre les ravageurs par des méthodes autocides comme l'introduction d'individus stériles ou génétiquement différents a progressé lentement dans le cas des insectes des forêts et elle ne fait plus l'objet d'études au SCF. Toutefois, des progrès en ingénierie génétique peuvent modifier radicalement l'avancement dans ce domaine. Certains ravageurs, en particulier ceux qu'on retrouve dans des peuplements de grande valeur tels que des plantations et des vergers à graines, peuvent être particulièrement sensibles à cette approche.

Les méthodes indirectes de lutte contre les ravageurs comme la manipulation de la population des arbres hôtes de l'insecte ravageur sont exclues parce qu'elles ne relèvent pas de la lutte biologique et qu'il est peu probable qu'elles soient rentables au cours des dix prochaines années. Il faut admettre que de telles méthodes sont susceptibles d'être particulièrement importantes pour lutter contre des maladies fongiques; par exemple, *Phellinus weirii* infecte les racines d'un plus grand nombre de Douglas taxifoliés dans les peuplements purs que dans les peuplements mélangés où on trouve de l'aulne rouge.

Nous n'étudierons pas les phéromones et les produits pour la régulation de la croissance des insectes parce qu'ils entrent dans le cadre de la lutte chimique. Les insecticides chimiques mélangés à des insecticides biologiques ne sont pas classés non plus comme produits utilisés pour la lutte biologique.

ii) Objectif de la lutte biologique

La lutte biologique vise à réduire les dégâts causés par les ravageurs des forêts à un seuil acceptable en limitant les populations. Ceci comprend aussi bien la réduction des populations de ravageurs qui causent déjà des dommages inadmissibles (traitements curatifs) que les moyens pour empêcher ces populations d'atteindre des proportions inacceptables (traitements préventifs). Lorsqu'il s'agit de limiter le nombre d'individus dans une population, les moyens biologiques peuvent être utilisés seuls ou associés à d'autres méthodes. La limitation résultant de l'application d'un agent de lutte peut être de courte durée et exiger des applications répétées, ou elle peut être de longue durée parce que l'agent de lutte se renouvelle par lui-même.

## 3. Place de la lutte biologique dans la lutte contre les ravageurs

Il est urgent de reconstituer la forêt si l'on veut que le secteur forestier conserve sa position actuelle ou prenne de l'expansion. La conservation du patrimoine forestier actuel et futur est essentielle pour que les approvisionnements en bois

demeurent suffisants. La protection des forêts contre les ravageurs constitue donc un élément fondamental d'une bonne gestion forestière.

i) Types de lutte contre les ravageurs

On peut commodément classer les méthodes de lutte dans cinq grandes catégories: la mise en quarantaine pour écarter les ravageurs exotiques ou limiter l'avance des ravageurs indigènes, le plantage d'espèces arboricoles désirables et résistantes face aux ravageurs, la sylviculture, la lutte biologique et la lutte chimique comprenant l'utilisation de pesticides.

ii) Choix des méthodes de lutte

Dans ce domaine, les décisions doivent être prises en fonction de chaque cas et il est difficile de généraliser. Évidemment, on devrait examiner toutes les méthodes de lutte possibles avant de prendre une décision. Au moment d'évaluer les moyens de lutte, trois questions importantes se posent: est-ce-que ce moyen est efficace? (faisabilité), combien en coûte-t-il pour l'appliquer? (rentabilité) et est-ce un moyen acceptable par la société? (compatibilité écologique). Voici une courte explication.

a) Faisabilité: Il s'agit d'estimer si le moyen de lutte choisi va suffisamment réduire ou limiter les dommages causés aux arbres pour qu'ils soient tolérables. Il est indispensable de connaître l'interaction qui s'établit entre l'agent de lutte biologique et la dynamique de la population du ravageur pour comprendre le processus de lutte. Toutefois, en définitive, ce n'est pas le nombre des insectes tués ou affaiblis qui importe, mais dans quelle mesure on parvient à réduire les dommages causés aux arbres de façon qu'ils soient tolérables, ce qui relève de la gestion forestière.

b) Rentabilité: Il s'agit d'une question complexe qui exige l'intervention de spécialistes en économie. Ce qui paraît rentable au gestionnaire d'une forêt en particulier peut bien ne pas l'être pour la collectivité, ce qui rend les analyses difficiles. Néanmoins, tous les moyens de lutte doivent être assujettis à des analyses économiques fondées sur les meilleures prévisions possibles. On a souvent omis cette démarche dans le passé. La stratégie en matière de recherche ne devrait pas être uniquement dictée par des considérations d'ordre économique; on trouve souvent des moyens pour réduire le coût d'un produit qui se révèle efficace du point de vue technique, et il faut tenir compte des lois et de l'acceptation du produit.

c) Compatibilité écologique: Bien souvent ce peut être le facteur clé. Il faut considérer deux aspects: l'effet sur le milieu, c'est-à-dire l'effet mesuré sur l'environnement, y compris la santé et la sécurité du public, et l'acceptabilité sur le plan social,

c'est-à-dire l'évaluation du risque possible pour le milieu, y compris la santé des hommes. Il faut absolument qu'un moyen soit acceptable pour la société; et ne pas tenir compte de ce fait conduira presque certainement à l'échec de la tentative de lutte, comme le prouvent les protestations que la pulvérisation d'insecticide chimique a soulevées dans de nombreuses régions du Canada. Même le Nouveau-Brunswick, qui a énormément recours à la pulvérisation de produits chimiques, n'a pas pu utiliser ces produits sur plus du tiers de sa superficie qui est classée comme zone vulnérable. Il existe deux façons de régler les problèmes d'acceptation: trouver d'autres moyens de lutte qui soient plus acceptables, ou renseigner le public par l'intermédiaire d'autres organismes intéressés pour qu'il accepte le moyen de lutte qui prête à controverse.

## 4. Économie et lutte biologique

### i) Comparaisons entre les avantages et le coût des recherches

La lutte contre les ravageurs au moyen d'insecticides chimiques sert de norme pour juger des autres méthodes de lutte. Mais bien souvent, faute de données, on n'a pas établi de comparaisons sur le plan économique entre la lutte biologique et les techniques de lutte classiques au moyen de pesticides chimiques. Lorsqu'on réussit à obtenir des données, les perspectives de rentabilité de la lutte biologique sont impressionnantes. Dernièrement, en Australie, une évaluation économique impartiale de 12 projets de lutte contre des ravageurs, comprenant l'attaque des pins par des frelons et l'attaque des eucalyptus par des scarabées, a révélé que, en moyenne, chaque dollar investi a rapporté 10,50 $ même si 4 des 12 projets n'ont pas fait leurs frais (J.S. Marsden *et al.*, 1980). Aux fins de comparaison, on dit souvent que le rapport de rentabilité pour les pesticides chimiques est de 1/4 (Ordish, 1976).

Au Canada, les études économiques les plus détaillées au sujet de méthodes de lutte, y compris des méthodes de lutte biologique, ont été effectuées sur des mauvaises herbes. Par exemple, dans l'ouest du Canada, la centaurée tachetée et la centaurée diffuse menacent de grandes surfaces de pâturages; on a calculé que pour combattre cette mauvaise herbe au moyen d'agents biologiques il faut compter 28 années-scientifiques et des dépenses de 1,8 million de dollars, alors que l'utilisation du picloram pourrait coûter 33 millions de dollars (Harris et Cranston, 1979).

Les quelques statistiques forestières dont nous disposons sont également impressionnantes. Par exemple, le diprion européen de l'épinette a menacé toute la population d'épinettes de l'est du Canada; ce problème était aussi important que l'infestation de tordeuse des bourgeons de l'épinette qui sévit à l'heure actuelle. Les

agents biologiques dont le coût vers 1940 a été estimé à 300 000 dollars ont réussi tout à fait jusqu'à présent à limiter la population de diprions sans qu'il soit nécessaire de recourir à d'autres agents de lutte. L'introduction fortuite d'un des agents de lutte a favorisé le projet. À titre de renseignement, le coût d'utilisation d'agents chimiques pour lutter contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette est évalué aujourd'hui de différentes façons entre 100 et 200 millions de dollars en fonction de la valeur du dollar entre 1950 et 1980, et il faut poursuivre la pulvérisation des arbres. Les insecticides chimiques sont cependant les agents les plus efficaces que l'on connaisse à l'heure actuelle.

L'ICLB, principal organisme auprès duquel le Canada s'approvisionne en parasitoïdes exotiques et en prédateurs, peut également fournir certains chiffres. Vers 1967, le coût d'exploitation de l'ICLB était estimé à 1 million de livres sterling alors que la totalité des profits tirés des principales expériences réussies s'élevait à 4,8 millions de livres sterling (Simmonds, 1967). Le département de lutte biologique de l'Université de la Californie a publié des chiffres faisant état de profits de l'ordre de 115 millions de dollars pour une dépense de 4,3 millions de dollars (De Bach, 1974).

ii) Coûts de production

Le coût de production des agents de lutte biologique a fait l'objet de rapports récents. À la suite d'une étude approfondie de nouveaux pesticides qui comprenaient quelques biopesticides, le Stanford Research Institute a conclu qu'il était peu probable que cette industrie privée puisse concurrencer l'industrie des pesticides chimiques parce que ses profits sont beaucoup plus faibles (Anon., 1977a).

L'utilisation de *Bacillus thuringiensis* (B.t.), le principal pesticide microbien actuellement produit en quantités commerciales, semble être rentable parce que les producteurs utilisent des fermenteurs dont on ne se sert pas plutôt que d'installations spécialement conçues à cette fin entraînant des frais de premier établissement élevés pour la seule production de cette bactérie. L'étude la plus récente, effectuée par Schultz International pour le SCF, a montré que la construction d'une nouvelle installation vouée exclusivement à la production de B.t. triplerait au moins le coût du produit commercial actuel (Anon., 1981a). Malheureusement, on n'a pas envisagé d'autres solutions telles que la location de temps de fermenteur pour produire la bactérie en question ou la production d'autres produits pour amortir les investissements en capital. Une étude complémentaire sur les coûts d'élevage d'insectes n'a pas été menée à terme.

Un certain nombre de virus ont également été produits, principalement aux États-Unis, mais il est difficile de faire une évaluation réaliste des coûts de production, en partie parce que bon nombre de producteurs ont perdu de l'argent. Parmi les virus

contre les ravageurs des forêts, mentionnons les virus contre la spongieuse et contre la chenille à houppes du Douglas qui ont été produits aux États-Unis pour un prix forfaitaire d'environ 5 $ l'acre. Les coûts de production des virus à l'IRRF, qui possède une installation relativement plus petite que les installations commerciales et dont les employés sont rétribués comme des chercheurs et non pas comme des travailleurs de la production, s'établissent comme suit: pour la chenille à houppes du Douglas, 40 $ l'hectare; pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette, 250 $ l'hectare; pour le diprion de LeConte ou le diprion européen de l'épinette, 2150 $ l'hectare. La production du virus contre les tenthrèdes et diprions est peu coûteuse parce qu'il est facile de les produire sur le terrain.

## 5. Place de la lutte biologique dans la lutte intégrée contre les ravageurs

Parmi les cinq méthodes de lutte contre les insectes ravageurs que nous avons déjà décrites, c'est l'utilisation d'insecticides chimiques qui a produit les meilleurs résultats et qui domine les stratégies de lutte. En général, les insecticides chimiques sont efficaces et polyvalents, ils agissent rapidement et le prix de revient de chaque épandage est raisonnable. Pourquoi alors chercher autre chose? Certains soutiennent qu'il le faut parce que chaque épandage ne permet qu'une répression de courte durée, mais les problèmes suivants peuvent également se présenter: tort causé à des organismes qui ne sont pas visés par le produit, ce qui comprend les ennemis naturels des ravageurs, d'autres animaux et les hommes; prolifération de ravageurs secondaires; acquisition par les ravageurs d'une résistance aux produits chimiques; et accumulation de résidus indésirables. Les problèmes susceptibles de se présenter vont augmenter à mesure que les stratégies de protection de la forêt au moyen de produits chimiques vont changer. Au Nouveau-Brunswick, par exemple, il ne suffit plus d'essayer, de conserver les arbres en vie; il faut aussi assurer leur croissance, ce qui exige une destruction plus efficace de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. C'est pourquoi nous cherchons de plus en plus d'autres stratégies de lutte qui nous permettront de moins recourir aux insecticides chimiques. On s'oriente maintenant vers des solutions de rechange telles que le recours aux méthodes de lutte biologique. Bon nombre de stratégies incluent, implicitement ou explicitement, des procédés de lutte biologique au titre de la lutte intégrée contre les ravageurs.

La lutte intégrée contre les ravageurs des forêts c'est la mise en oeuvre de moyens artificiels et des moyens naturels coordonnés pour réduire ou prévenir les dégâts inadmissibles causés par des ravageurs. En foresterie, par exemple, on peut combiner des

stratégies de sylviculture à des moyens de lutte chimique et biologique. La lutte intégrée contre les ravageurs semble souvent particulièrement bien convenir au domaine de la foresterie, qui exploite en effet cette ressource de multiples façons et peut tolérer des dégâts plus élevés que l'agriculture. Si on la compare à l'utilisation courante des insecticides chimiques, la lutte intégrée semble offrir plusieurs avantages: elle devrait agir conjointement avec des moyens de lutte naturels, il faut moins de produits chimiques, ceux-ci coûtent moins cher et on diminue les risques de produire des races d'insectes résistants. Comme on utilise moins de produits chimiques et que, par le fait même, les risques de contamination de l'environnement sont réduits, les techniques de lutte intégrée devraient être plus acceptables sur le plan social. La lutte biologique peut évidemment jouer un rôle essentiel dans le cadre de la lutte intégrée peut-être surtout en foresterie puisqu'il semble que des milieux stables et variés soient favorables aux moyens de lutte automatiques qui se reproduisent d'eux-mêmes. Mais il faut aussi reconnaître que des moyens de lutte biologique, des stratégies de lutte intégrée y compris, imposent la manipulation d'interactions biologiques complexes. Plus que les stratégies de lutte chimique, de telles approches exigeront une compréhension approfondie de la dynamique des populations de ravageurs (par exemple Norton et Holling, 1976; Berryman et Safranyik, 1980) et de l'interaction avec des facteurs de lutte naturels.

## 6. Évaluations récentes de recherches en matière de lutte biologique faites par des organismes de l'extérieur

Au cours des dernières années, on a rédigé beaucoup de rapports et organisé de nombreux ateliers de travail qui témoignent de l'importance de la lutte biologique contre les ravageurs. Par exemple, aux États-Unis, le National Research Council, organisme officiel mais indépendant qui conseille le gouvernement fédéral, a soumis une étude exhaustive en cinq volumes sur les pratiques et les perspectives en matière de lutte contre les ravageurs. Plusieurs "cultures", dont les arbres, ont été étudiées en détail. Les auteurs du rapport ont recommandé de coordonner étroitement les recherches sur les agents de lutte contre les ravageurs des forêts avec les recherches dans les domaines de la sylviculture et de la gestion des forêts et aussi d'accroître les fonds alloués pour la lutte biologique (Anon., 1975). Un rapport ultérieur du ministère de l'Agriculture des États-Unis, commandé par le président Carter pour encourager la mise au point et l'application de moyens naturels de lutte biologique, contenait 11 recommandations à l'effet d'augmenter l'aide dans ce domaine (Anon., 1978). Ces recommandations étaient en substance les suivantes:

- promouvoir des travaux dans le domaine de la lutte biologique en accordant des contrats et des subventions et en fournissant de l'aide technique à ceux qui voudraient utiliser ces moyens
- accorder la priorité aux essais sur le terrain ainsi qu'aux techniques de production, de formulation, d'entreposage et d'application
- mettre au point des méthodes pour évaluer non seulement la faisabilité du point de vue technique mais aussi les questions d'économie et d'environnement
- réviser les lois et les règlements relatifs à la lutte contre les ravageurs dans le but d'encourager l'application de moyens biologiques
- établir un système national de coordination comprenant des programmes intéressant l'État, le gouvernement fédéral et les industries ainsi qu'un système national de recherche de l'information
- étendre les explorations à l'étranger pour la recherche d'agents de lutte biologique
- élargir le champ des recherches fondamentales en particulier sur la dynamique des populations d'insectes

Récemment, deux ateliers de travail internationaux ont porté expressément sur la lutte microbiologique contre les insectes nuisibles (Allen, Ignoffo et Jaques, 1978; Anon., 1980a); le plus récent, tenu en 1980, avait été conçu tout particulièrement pour que l'organisateur puisse tirer profit de ce qu'il considérait comme un domaine prometteur de la recherche appliquée.

Dernièrement, le ministère de l'Agriculture des États-Unis a organisé un colloque international sur tous les aspects de la lutte biologique à son principal centre de recherches, à Beltsville, au Maryland. Chaque année un seul sujet clé est choisi pour cette importante rencontre; pour la réunion de 1980, on avait choisi la lutte biologique.

Les rapports canadiens préconisent également qu'on effectue plus de recherches dans la lutte biologique relative aux organismes entomopathogènes. Dans son rapport du 18 février 1981 au ministre d'État chargé des Sciences et de la Technologie au Canada, le groupe de travail sur la biotechnologie souligne l'importance des moyens de lutte biologique pour la protection des forêts et recommande d'intensifier les efforts du SCF (Anon., 1981d). Au cours de l'été 1981, le Conseil consultatif canadien de l'environnement a présenté un rapport au ministre de l'Environnement dans lequel il recommandait fortement d'appuyer davantage la lutte biologique dans les programmes de répression des ravageurs.

Il ne fait aucun doute que l'intérêt général à l'égard de la lutte biologique est en partie dû au fait que les insecticides chimiques, s'ils sont des moyens essentiels et efficaces de lutte contre les ravageurs, ne sont pas sans présenter des désavantages et qu'ils ne constituent qu'une des nombreuses armes disponibles. Il est nécessaire de trouver d'autres armes plus efficaces que les insecticides chimiques (pas nécessairement pour les remplacer). Carrow (1981) insiste sur ce fait "pour que notre dépendance absolue à l'égard des produits chimiques puisse être réduite". Un point de vue identique au sujet des épandages aériens a été exprimé par le ministère de l'Environnement dans une déclaration de principe en 1977 (Anon., 1977b).

## 7. Le succès d'ensemble et le potentiel de la lutte biologique

a) Considérez d'abord l'introduction de parasitoïdes et de prédateurs (ce qu'on appelle les moyens de lutte biologique classiques). Dans le monde entier, des introductions d'ennemis naturels ont abouti à la répression substantielle ou même complète de plus de 100 espèces de ravageurs (van den Bosch, 1975). Au Canada, Munroe (1971) a résumé les succès remportés par la lutte biologique au moyen de prédateurs et de parasitoïdes jusqu'en 1968. Jusqu'en 1958, parmi toutes les tentatives faites dans le domaine agricole pour lutter contre 24 insectes ravageurs des récoltes, on considère que 10 ont été couronnées de succès; dans le domaine de la foresterie, 9 des 25 tentatives ont été jugées réussies. Entre 1959 et 1968, les efforts constants des spécialistes des sciences forestières sont venus à bout de 5 des 7 ravageurs visés alors que dans le domaine de l'agriculture, où on avait limité les recherches, seulement 1 des 4 tentatives a été couronnée de succès, et sur 10 autres essais, 8 ont échoué. Une étude des travaux effectués au Canada jusqu'en 1980 est présentement en cours et les résultats devraient être prêts en 1982.

L'intensité des efforts a beaucoup varié (par exemple au SCF, la plus grande partie des efforts ont porté contre les ravageurs importés parce qu'il était possible, croyait-on, qu'ils n'aient pas transporté avec eux tous leurs ennemis naturels) et on a conclu inévitablement que les victoires remportées valaient les efforts. Cette conclusion est également valable à l'échelle mondiale. Les idées générales qui ont cours au sujet des conditions les meilleures ou les pires pour la lutte biologique au moyen de prédateurs et de parasitoïdes sont fondées sur des cas particuliers et témoignent dans une large mesure que les efforts faits dans ce sens ne sont pas partout égaux. Il semble qu'en théorie on ne puisse guère se permettre de faire des généralisations – on peut immanquablement trouver des exceptions (De Bach, 1964). Les conclusions les plus utiles qu'on puisse tirer

sont que les zones continentales tempérées fournissent un environnement favorable pour la lutte biologique et que les victoires remportées dans ce domaine sont proportionnelles aux ressources déployées.

Il faut donc considérer que la lutte contre les ravageurs des forêts au moyen d'agents biologiques, soit l'introduction de prédateurs et de parasitoïdes, est très possible en particulier dans le cadre des programmes de lutte intégrée surtout lorsque l'on connaît mieux le comportement du ravageur et de l'agent de lutte dans la dynamique des populations d'insectes. Lorsqu'il s'agit de décider si l'on aura recours à un agent de lutte biologique, il faut bien entendu, chaque fois, considérer la situation et les facteurs techniques, économiques et écologiques qui entrent en cause.

L'augmentation de la population de prédateurs et de parasitoïdes indigènes en particulier par la production en masse et par les lâchers massifs n'a pas été pratiquée sur une haute échelle en Amérique du Nord malgré les succès revendiqués par l'URSS et la Chine. Voici des exemples: la libération d'un parasitoïde de l'oeuf, *Trichogramma evanescens*, contre la tordeuse des bourgeons du pin en URSS a permis de réduire de plus de 50 % les dommages causés aux bourgeons; en Chine, la libération de *Trichogramma dendrolimi* pour combattre *Dendrolimus sibericus*, un ravageur important du pin, du mélèze et de l'épinette, a réduit les infestations qui atteignaient 63 % des arbres à seulement 1 %, et aucune autre infestation (il en survient une en général à tous les 10 ans) n'a été signalée depuis (Bennett, 1980). D'après ces exemples, on peut dire que l'emploi de cette technique contre certains ravageurs doit être considéré comme prometteur.

b) L'introduction d'organismes entomopathogènes est une méthode mise au point pour lutter contre les ravageurs. Des bactéries comme B.t. sont utilisées dans le monde entier, y compris le Canada, pour combattre des lépidoptères nuisibles. On a aussi largement recours à des virus entomopathogènes. Des virus contre la chenille à houppes du Douglas (*Orgyia pseudotsugata*) et la spongieuse (*Lymantria dispar*) ont été cultivés commercialement en Amérique du Nord. Des virus contre les tenthrèdes et les diprions comme le diprion de LeConte (*Neodiprion lecontei*) et la tenthrède du pin d'Écosse (*Neodiprion sertifer*) donnent de bons résultats sur le terrain, particulièrement au Canada, et la Finlande produit un virus contre *N. sertifer* à des fins commerciales. Le Japon et la Chine utilisent des virus pour lutter contre *Dendrolimus* spp., des insectes défoliateurs du pin. Pour des cultures autres que des arbres, des virus qui s'attaquent aux noctuelles (*Heliothis*) du coton et du tabac sont produits et enregistrés dans le commerce aux États-Unis et en Australie. Des virus d'insectes ravageurs comme *Trichoplusia ni* qui attaque les récoltes de coton, de navette et d'autres cultures sont sur le point d'être produits commercialement aux États-Unis. Ils sont déjà utilisés en Colombie comme insecticide de

premier choix à cause de leur efficacité. Beaucoup d'autres exemples peuvent être mentionnés.

Un certain nombre de champignons sont également utilisés comme entomopathogènes. *Beauveria bassiana* sert à lutter contre des ravageurs des forêts en Russie et en Chine. L'Europe de l'Ouest produit à l'heure actuelle sur des plantes non sylvicoles un champignon (*Verticillium lecanii*) pour combattre certains pucerons. En Amérique du Nord, on utilise *Hirsutella thompsonii* contre des acariens (qui ne sont pas des insectes). *Metarrhizium anisopliae* sert à lutter contre des insectes ravageurs en Chine et en Amérique du Sud, et d'autres champignons tels que *Nomurea rileyi* et *Entomophthora* spp. sont utilisés un peu partout à titre expérimental, surtout pour lutter contre des ravageurs de cultures agricoles. Des essais ont été effectués avec *Cordyceps militaris*, mais son utilité n'a pas été établie pour lutter contre les lépidoptères ravageurs des forêts au Canada.

Un seul protozoaire entomopathogène a été étudié pour un usage extensif sur le terrain: *Nosema locusta* avec un appât est enregistré pour la lutte contre les criquets.

Il est évident que la possibilité de combattre les ravageurs des forêts au moyen d'organismes entomopathogènes doit aussi être considérée comme excellente, encore une fois en particulier dans le cadre de programmes de lutte intégrée. Il importe bien entendu de choisir la combinaison la plus prometteuse d'espèce de ravageur et d'organisme entomopathogène.

## 8. La lutte biologique et le SCF

### i) Justification

La lutte biologique en tant qu'instrument de gestion des forêts correspond parfaitement au mandat du SCF en matière de recherches à l'intérieur d'Environnement Canada. Ce travail a une portée nationale; il est complexe et exige diverses compétences dont ne disposent pas les petits organismes. Il faut en outre obtenir la collaboration d'autres organismes internationaux comme l'ICLB et d'organismes étrangers tels que le U.S. Forest Service.

Toutefois les chercheurs du SCF ne précisent pas dans quelle mesure le service entend s'engager dans la lutte biologique. Une déclaration d'intention claire pourrait être utile, peut-être dans le même ordre de pensée que la stratégie (non pas les recommandations spécifiques) formulée par le directeur du State and Private Forestry USFS pour la région du Nord-Est, qui a envisagé cinq stratégies différentes pour la lutte contre les ravageurs et a décidé "d'intensifier les efforts dans le domaine de la sylviculture et de la

gestion en fonction de l'utilisation, de réduire l'emploi des insecticides chimiques... et d'augmenter le recours aux insecticides biologiques" (Schacht, 1981).

ii) Le SCF et l'ICLB

Le SCF a depuis toujours payé l'ICLB, qui fait partie des Offices agricoles du Commonwealth, pour recueillir et expédier au Canada des parasitoïdes et des prédateurs intéressants. La station de l'ICLB à Delémont, en Suisse, a été utilisée parce que l'on considère que les conditions climatiques de cette région de l'Europe ressemblent à celles du Canada. L'arrangement est efficace (on a recours à des spécialistes de l'endroit) et peu coûteux (le contrat du SCF ne couvre que la moitié environ des frais de l'ICLB, et s'il fallait poster des Canadiens en Europe cela doublerait au moins les coûts pour la cueillette des spécimens). Malheureusement, à cause du peu d'intérêt manifesté par le SCF, les responsables de la station de l'ICLB à Delémont ont récemment renvoyé leur seul entomologiste forestier employé à plein temps; les travaux du SCF sont maintenant effectués par du personnel à temps partiel. Apparemment, on engagerait un entomologiste forestier permanent si le SCF le demandait et le faisait par contrat.

Pour choisir ce que l'ICLB doit recueillir, le SCF a entrepris de s'enquérir auprès des directeurs de programmes des besoins des chercheurs scientifiques et de présenter une demande globale. Il est rare que le scientifique qui fait une demande de matériel participe effectivement à la cueillette pour apprendre à mieux connaître la biologie du parasitoïde et du prédateur. Il arrive parfois que l'ICLB envoie une étude de ce qui s'est publié en Europe sur le prédateur ou le parasitoïde en question.

iii) Le SCF et Agriculture Canada

Il n'existe pas de contacts officiels entre les organismes pour accélérer les recherches en matière de lutte biologique. Les contacts s'établissent sur une base individuelle entre les scientifiques. Agriculture Canada et le SCF collaborent par l'intermédiaire du Comité interministériel fédéral sur les pesticides à l'élaboration de protocoles et à l'établissement des données requises pour l'enregistrement d'organismes entomopathogènes. Agriculture Canada est chargé de contrôler toutes les importations d'agents de lutte biologique; leur manipulation peut être déléguée aux agents du SCF qui disposent d'installations quarantenaires appropriées comme celles du CRFGL.

iv) La lutte biologique au SCF et au U.S. Forest Service

Ces organismes ne se consultent pas régulièrement et de façon officielle en ce qui concerne les travaux sur la lutte biologique. Au sujet des organismes entomopathogènes, les contacts se font par l'intermédiaire de groupes de travail tels que ceux de

la Society of Invertebrate Pathology. Le groupe de travail de la Commission des forêts pour l'Amérique du Nord (Canada, Mexique et États-Unis) sur les insectes et les maladies a l'intention de tenir un atelier de travail sur la lutte biologique à Sault-Sainte-Marie, en 1982. Le programme CANUSA sur les tordeuses des bourgeons de l'épinette touche quelques aspects de la lutte biologique. Quelques projets américains recherchent la collaboration de scientifiques canadiens comme par exemple le projet S-135 sur les agents microbiens utilisés dans le cadre des programmes de lutte intégrée contre les ravageurs. Les programmes américains *big bug* sur le dendroctone méridional du pin (*Dendroctonus frontalis*) et la spongieuse (*Lymantria dispar*) ont permis une participation limitée et en grande partie officieuse de scientifiques canadiens; dans le cas de la chenille à houppes du Douglas (*Orgyia pseudotsugata*), le U.S. Forest Service, le SCF et le service des forêts de la Colombie-Britannique ont travaillé ensemble en 1975 et 1976 à des essais sur le terrain de diverses méthodes de lutte, y compris des méthodes de lutte biologique, près de Kamloops en Colombie-Britannique. Une lettre d'entente a été signée entre le CRFP et la région 6 du U.S. Forest Service. On dit que ces travaux ouvrent la voie à une collaboration internationale contre un important insecte ravageur des forêts (Anon., 1980b).

Le Canada et les États-Unis avaient l'habitude d'examiner ensemble leurs programmes de lutte biologique, environ tous les deux ans, pour permettre aux coordonnateurs d'échanger des renseignements. La dernière réunion s'est tenue en 1974 à Newark au Delaware. Récemment, certains se sont dits intéressés à reprendre ces échanges.

v) Les victoires du SCF en matière de lutte biologique

Les techniques mises au point par des scientifiques du gouvernement fédéral pour la lutte biologique ont remarquablement réussi contre les ravageurs suivants: la tenthrède du mélèze (*Pristiphora erichsonii*), le diprion importé du pin (*Diprion similis*), le diprion européen de l'épinette (*Gilpinia hercyniae*), le papillon satiné (*Leucoma salicis*), le porte-case du mélèze (*Coleophora laricella*), l'arpenteuse tardive (*Operophtera brumata*), le diprion de LeConte (*Neodiprion lecontei*), le diprion du pin sylvestre (*Neodiprion sertifer*), le diprion de Swaine (*Neodiprion swainei*), la tenthrède du sorbier (*Pristiphora geniculata*), la chenille à houppes blanches (*Orgyia leucostigma*) et la chenille à houppes du Douglas (*Orgyia pseudotsugata*). De plus, des insecticides microbiens comme B.t. peuvent être utilisés pour lutter contre de nombreux lépidoptères ravageurs des forêts pourvu qu'ils soient appliqués comme des insecticides chimiques (des traitements répétés sont nécessaires) et qu'on puisse améliorer les techniques d'épandage pour obtenir des résultats plus sûrs; les ravageurs en question comprennent la tordeuse des bourgeons de

l'épinette (*Choristoneura fumiferana*), la livrée des forêts (*Malacosoma disstria*) et l'arpenteuse de la pruche (*Lambdina fiscellaria fiscellaria*).

Nous pourrions donner beaucoup d'autres exemples de succès des techniques à divers degrés. En fait, parmi les insectes nuisibles qui ont été étudiés, rares sont ceux qui ne réagissent pas aux agents de lutte biologique.

Les résultats du point de vue économique de ces interventions ont rarement été évalués. Cependant il existe une documentation particulièrement abondante sur la lutte contre l'arpenteuse tardive: vers 1970, on estimait qu'il en coûterait 500 000 dollars pour l'éliminer; en ne considérant que la destruction du chêne rouge, la valeur des pertes aurait pu atteindre 45 millions de dollars. Ces pertes totalisaient déjà 7 millions de dollars lorsqu'on a commencé à appliquer des moyens de lutte. Nous avons déjà mentionné le succès spectaculaire remporté contre le diprion européen de l'épinette: le coût total de cette intervention, évalué vers 1940, s'élevait à 300 000 dollars, mais déjà la moitié des épinettes de la région de Gaspé avaient été détruites.

Il faut considérer que ces tentatives de lutte ont été bien acceptées par la société et n'ont pas nui à l'environnement. Cependant les insecticides microbiens sont susceptibles de soulever des remous dans le public, si l'on en vient à les considérer (même à tort) comme des germes ou comme pouvant provoquer des cancers chez les mammifères.

vi) Le SCF et les installations de production

L'établissement d'installations de production appropriées est un problème constant en matière de lutte biologique; il est facile de comprendre que l'industrie de la production de pesticides encourage la production d'insecticides chimiques qui permettent de réaliser des profits plus élevés (Anon., 1977). Même la production du B.t. dans des bacs de fermentation est orientée vers la lutte contre les insectes nuisibles pour les cultures agricoles. Pour lutter contre les insectes ravageurs des forêts, les conditions de production optimales (souches microbiennes, etc.) seront différentes et probablement cent fois plus efficaces une fois améliorées. Malheureusement, personne n'a entrepris de poursuivre les travaux dans ce domaine. Il faut aussi automatiser la production d'insectes pour les virus ou les prédateurs et parasitoïdes si l'on veut obtenir une production économique de grande envergure. Une production de ce genre a été atteinte à l'étranger et on a pu lâcher des insectes stériles pour lutter contre la mouche méditerranéenne des fruits (50 millions/jour), la mouche du melon (15 millions/jour) et la mouche piquante des étables (1 million/jour). Encore une fois, personne au Canada n'a entrepris des travaux dans ce sens. La meilleure solution serait peut-être que les gouvernements fédéral et provinciaux s'engagent à collaborer avec l'industrie forestière. Entre temps, le SCF

devrait chercher à encourager la construction d'installations de production canadiennes à mesure que les besoins augmentent – ces capacités techniques ne peuvent pas facilement être achetées à l'étranger; il faut plutôt songer à les développer en fonction des conditions qui prévalent au Canada.

## 9. Travaux actuels du SCF en matière de lutte biologique

### i) Ventilation par organismes

On peut voir au tableau 1 comment les activités en matière de lutte biologique sont actuellement réparties entre différents établissements. L'IRRF, le CRFN et l'IFNP ne s'intéressent qu'aux organismes entomopathogènes alors que le CRFGL et le CRFT-N ne travaillent qu'avec des prédateurs et des parasitoïdes. Le CRFP, le CRFL et, dans une moindre mesure, le CRFM se servent, pour leurs travaux, à la fois d'organismes entomopathogènes, de prédateurs et de parasitoïdes.

Environ 60 % des subventions accordées pour la lutte biologique sont dépensées par l'IRRF (tableau 2); le CRFL pour sa part en dépense environ 20 %, et enfin le CRFP et le CRFGL, près de 10 % chacun. Le CRFN, le CRFM, le CRFT-N et l'IFNP ne dépensent ensemble que 5 % environ des sommes consacrées à la lutte biologique. Les montants alloués au CRFN, au CRFM et au CRFT-N semblent insuffisants si l'on considère la proximité de ces centres de forêts victimes de grands ravageurs (nous reviendrons plus loin sur ce sujet) et l'importance de pouvoir recourir aux agents biologiques pour lutter contre eux.

Les ressources allouées aux équipes chargées de la lutte biologique sont à peu près semblables d'un établissement à l'autre (tableau 2). Parmi les quatre principaux centres où on fait des recherches en matière de lutte biologique, le CRFL consacre environ 33 % plus de ressources pour chaque année-personne que l'IRRF.

### ii) Ventilation par agents de lutte

Le nombre d'années-personnes allouées à chaque type d'agent de lutte dans chaque centre est indiqué au tableau 3; étant donné que plus des trois quarts de la main-d'oeuvre ne travaillent que sur des organismes entomopathogènes, cette catégorie est subdivisée dans le tableau 4. Les travaux avec des bactéries sont presque exclusivement effectués à l'IRRF et au CRFL; les expériences avec des virus et des protozoaires sont concentrées à l'IRRF; les travaux avec des champigons se font en grande partie à l'IRRF, mais le CRFP en fait aussi une large part; la plupart des travaux avec des prédateurs et des parasitoïdes sont effectués au CRFGL et au CRFL, certains travaux étant faits au CRFP et au CRFT-N. L'anomalie la plus évidente est la faiblesse des ressources

accordées pour les travaux sur les prédateurs et les parasitoïdes. En effet, on peut se demander si le SCF conserve encore une "masse critique" de compétence dans ce domaine pour l'avenir: seulement deux laboratoires consacrent plus de une année-personne à ce travail, et pourtant le SCF a remporté plusieurs victoires grâce à cette méthode de lutte. En théorie, rien ne permet de croire que d'autres réussites ne sont pas possibles; le fait que la méthode ne présente pas d'inconvénients pour la population et l'environnement devrait constituer un avantage particulier et l'homologation des produits, processus coûteux et incertain, n'est pas requise. La centralisation des travaux sur les organismes entomopathogènes à l'IRRF permet une utilisation efficace des ressources du SCF, en particulier pour ce qui est de la recherche fondamentale et du traitement des formalités d'homologation pour les insecticides.

La répartition de la main-d'oeuvre affectée aux travaux sur les divers agents de lutte biologique dans les centres du SCF est présentée au tableau 5. Les travaux avec des virus occupent environ 30 % de la main-d'oeuvre affectée à la lutte biologique, tandis que les travaux avec les bactéries, les champignons, ainsi que les prédateurs et les parasitoïdes comptent pour environ 20 % chacun. Les travaux avec des protozoaires totalisent environ 10 % de la main-d'oeuvre.

iii) Ventilation par ravageurs cibles

Le tableau 6 présente un aperçu des nombres d'années-personnes allouées à la lutte biologique contre différents ravageurs. Les chiffres sont approximatifs et varient d'une année à l'autre. Dans certains domaines de travail de l'IRRF, les plans des programmes n'indiquent pas la part de ressources consacrée à chaque ravageur visé. Par exemple, dans le domaine de la virologie; nous avons appris, en parlant avec le directeur du projet, qu'environ 50 % des ressources sont consacrées aux tenthrèdes et diprions et le reste, en grande partie, aux travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Il serait utile que ce genre d'information figure dans le plan du programme.

Environ 60 % de la main-d'oeuvre du SCF travaillant dans le domaine de la lutte biologique est affectée aux travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de la façon suivante: près du tiers des employés travaillent sur le B.t., un quart sur les virus, un peu moins sur les champignons et le reste de l'effectif sur les protozoaires et les fourmis rouges (prédatrices). Il faut remarquer cependant que ce chiffre de 60 % est obtenu en considérant que toutes les recherches de soutien effectuées à l'IRRF (ce qui représente le quart du 60 %) portent sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Les travaux sur la tenthrède du pin d'Écosse et le diprion de LeConte exigent près de 20 % de la main-d'oeuvre; environ les deux tiers de ces employés s'occupent des virus et les autres, des

parasitoïdes. Les travaux de lutte contre la spongieuse (parasitoïdes), les scolytes de l'écorce (champignons) et la chenille à houppes du Douglas (virus) mobilisent chacun environ 5 % de la main-d'oeuvre. Plusieurs observations faites ici seront expliquées plus en détail un peu plus loin.

Les ressources allouées pour les recherches en matière de lutte contre les scolytes de l'écorce semblent faibles si l'on considère l'importance économique et écologique des dégâts causés par ces ravageurs, tandis que les ressources consacrées aux recherches sur les tenthrèdes et les diprions paraissent élevées, particulièrement pour des travaux sur les parasitoïdes, alors que les virus sont tellement efficaces. En ce qui concerne les recherches sur la tordeuse, le B.t. est en passe de devenir l'organisme le plus sûr pour la lutte à court terme, et une intensification des efforts dans ce sens devrait permettre de terminer ce travail, même aux dépens, si cela est nécessaire pour un certain temps, d'autres travaux sur les champignons, qui n'ont pas donné beaucoup de résultats pratiques (les travaux sur les protozoaires n'ont eux aussi guère progressé, mais ces organismes sont les parasites les plus fréquents de la tordeuse des bourgeons et les ressources sont déjà limitées à un seul scientifique). De plus, la recherche sur les moyens de lutte à long terme devrait être intensifiée: il faudrait songer à la fois à accélérer l'effondrement de la population et à faire en sorte que le ravageur ne dépasse pas le niveau endémique dans les endroits où il sévit.

iv) Ventilation selon l'âge des chercheurs

Nous de disposons pas de données détaillées à ce sujet. En général, dans le domaine de la recherche sur les organismes entomopathogènes, la répartition des chercheurs selon l'âge est uniforme, mais en ce qui concerne les recherches sur les prédateurs et les parasitoïdes, les chercheurs plus âgés prédominent largement; la mise à la retraite de chercheurs nous privera bientôt de gens de valeur.

v) Pourcentage des travaux de recherche du SCF sur la protection des forêts qui sont consacrés à la lutte biologique

On peut voir au tableau 7 quel pourcentage de son budget chaque établissement de recherches en matière de protection des forêts consacre à la lutte biologique. Lorsqu'on élimine le RIMA, un important poste de dépense au titre de la protection des forêts, les chiffres se lisent comme suit: l'IRRF consacre environ 45 % de son budget pour la protection des forêts à des recherches en matière de lutte biologique, tandis que le CRFGL en affecte 20 % et que le CRFP, le CRFL et le CRFM (en grande partie pour les maladies des arbres) en réservent chacun près de 10 %. De plus, environ 20 % du budget du SCF affecté aux recherches pour la protection des forêts est consacré à la lutte

biologique contre les ravageurs des forêts; ceci semble peu si l'on tient compte des victoires déjà obtenues, des connaissances actuelles et des possibilités pour l'avenir. Si l'on pousse les choses plus loin et qu'on élimine des calculs le coût des recherches sur les incendies de forêt, les chiffres ne s'en trouvent pas modifiés de façon importante.

Si l'on considère que les centres de recherches se trouvent à proximité de forêts victimes de ravageurs importants, les ressources consacrées à la lutte biologique par le CRFP et le CRFL paraissent faibles et la situation est encore pire en ce qui concerne le CRFM, le CRFT-N et le CRFN.

## 10. Planification des travaux à venir en matière de lutte biologique au SCF

### i) Expérience de planification antérieure

Il semble que dans le passé bon nombre de chercheurs ont choisi de travailler sur un ravageur et un agent de lutte biologique en particulier suivant leur formation ou leur intérêt pour ce sujet de recherche. Bien souvent, ils ont préféré un insecte ou un agent sans égard aux besoins en matière de gestion forestière. Les études entreprises pour évaluer le choix et examiner les résultats de ces travaux ont apparemment sanctionné cette approche. Ces dernières années, il s'est fait plus de recherches pour répondre à un besoin défini.

Malheureusement, les essais de lutte biologique ont souvent été mal planifiés et n'ont jamais vraiment laissé à l'agent la chance de montrer son efficacité: il s'ensuit que nous n'en savons pas assez long sur l'efficacité véritable ou le mécanisme d'action de l'agent.

Il faut mentionner tout spécialement les recherches sur les prédateurs et les parasitoïdes. S'il faut juger quels sont les ravageurs les plus sensibles, les régions géographiques les plus favorables, les meilleures cultures, les meilleurs parasitoïdes ou les meilleurs prédateurs pour la lutte biologique, les théories sont nombreuses. Elles s'appuient sur des expériences, mais à cause des exceptions les experts ne peuvent s'entendre au sujet d'une façon de prédire un succès probable (par exemple Debach, 1964). Il est même possible que, dans le passé, on ait utilisé certaines de ces théories discutables pour rejeter des agents de lutte ou des ravageurs. Cela semble particulièrement vrai en ce qui concerne la théorie suivante: pouvoir combattre des ravageurs indigènes par des moyens biologiques est peu probable. Pourtant comme Monroe (1971) l'a souligné, en adoptant cette façon de voir, on rejette la possibilité de jouer sur des concentrations d'ennemis naturels à des périodes critiques; on juge souvent mal si les ravageurs provenant de différents pays sont en réalité semblables; les termes "indigènes" et "importés" sont

relatifs; et puisque des ravageurs importés peuvent être tellement destructeurs pour des arbres "indigènes", pourquoi des prédateurs et des parasitoïdes importés ne pourraient-ils pas être destructeurs pour des ravageurs indigènes? De fait, Pimentel a publié une liste des victoires remportées contre des ravageurs indigènes (Pimentel, 1963), et dernièrement des entomologistes américains ont revendiqué la victoire contre un ravageur indigène des forêts; or ils avaient utilisé un parasitoïde importé peu prometteur provenant d'un hôte d'un genre différent (Bustillo et Drooz, 1977). Il est clair que de telles théories peuvent induire en erreur lorsqu'il s'agit de prédire des réussites.

ii) Stratégies pour l'avenir

a) Établissement des priorités en matière de lutte: Il s'agit d'une décision qui relève du domaine de la gestion des forêts. Il faut premièrement repérer les dommages inacceptables causés aux peuplements d'arbres ou aux espèces, deuxièmement découvrir si ces dégâts sont causés par des ravageurs, identifier le ravageur en cause et ses caractéristiques, et troisièmement choisir le moyen de lutte à envisager après avoir examiné et pesé les questions d'ordre technique et économique en rapport avec la faisabilité et jugé des répercussions sociales. On peut voir au tableau 8 les principales victoires remportées par le SCF avec des agents de lutte biologique et les comparer à la main-d'oeuvre travaillant actuellement sur chaque agent de lutte. Il faut remarquer que près du tiers de la main-d'oeuvre est affectée à des travaux sur des agents de lutte qui, jusqu'à maintenant, n'ont pas donné de bons résultats. La principale raison invoquée pour expliquer cet insuccès est qu'on n'a pas vraiment tenté d'utiliser ces pathogènes sur le terrain.

b) Principaux besoins en matière de recherche sur les divers agents de lutte biologique: Le tableau 9 fournit une évaluation générale des succès prévisibles avec les divers agents de lutte biologique. Il sert de cadre pour faire ressortir les besoins en matière de recherche. On trouvera plus de détails dans les exposés annuels des projets et les études bisannuelles des programmes. Une explication des évaluations est donnée ci-dessous.

I Prédateurs et parasitoïdes: D'une façon générale, les techniques faisant appel à ces agents ont de bonnes chances de succès, étant donné les réussites antérieures. Chaque problème est posé par une situation particulière, et ce qu'il faut avant tout c'est une bonne organisation des recherches, en particulier pour évaluer l'effet de la tentative de lutte (voir paragraphe d page 27).

Sur le plan de l'économie, le succès devrait être remarquable suivant la portée des recherches et des problèmes causés par le ravageur si l'on obtient une répression

par l'introduction de prédateurs et de parasitoïdes exotiques faciles à produire. Mais lorsqu'on songe à des lâchers massifs, il faut évaluer les coûts de production, qui représentent un poste important. Il est difficile d'extrapoler les résultats obtenus en Chine et en URSS avec des lâchers massifs, en fonction des conditions qui prévalent en Amérique du Nord.

Les moyens de lutte devraient être acceptables du point de vue social et économique; il ne doit pas être nécessaire d'exercer une surveillance poussée, sauf peut-être dans le cas des fourmis rouges – elles peuvent nuire à de nombreux animaux, y compris l'homme, qui se trouvent à proximité et leurs nids sont importuns. Ceci doit être évalué.

II Bactéries: On pourra bientôt utiliser le B.t. de façon extensive pour la répression à court terme, mais le succès de cette technique demeure variable. Il est urgent de terminer ces travaux; les administrateurs forestiers attendent cet agent de lutte avec impatience. Il importe avant tout d'identifier les facteurs de variabilité à partir du moment où le B.t. est livré aux avions qui vont faire l'épandage, puis lorsque le produit se dépose sur les arbres et pendant la vie du B.t. sur le terrain (Harper, 1979). Il faudrait classer les facteurs par ordre de priorité et déterminer les besoins en matière de recherche après avoir tenu compte des résultats du SCF dans le domaine. À l'heure actuelle, il semble que le B.t. soit efficace lorsqu'il est appliqué au bon moment, en quantité suffisante et que la livraison en est bien organisée.

Par souci d'économie, il faut principalement réduire les volumes de produits à transporter en utilisant des solutions plus concentrées et trouver des souches et des méthodes de production qui permettent d'obtenir un produit plus puissant (prenons le cas de la pénicilline, autre produit microbien dont le prix a baissé de facon spectaculaire (÷5000) en 12 ans de recherches intensives); on a trouvé récemment une souche de B.t. contre les ravageurs du genre *Heliothis* spp. qui est cent fois plus puissante que la souche industrielle produite à l'heure actuelle.

Il semble que ces produits soient bien acceptés par la population et l'environnement, du moins les produits de B.t. homologués à l'heure actuelle.

III Virus: Du point de vue technique, le succès est exceptionnel dans le cas de certains tenthrèdes et diprions et variable dans le cas de la tordeuse. Dans ce dernier cas, il semble qu'il faille absolument utiliser des doses élevées à cause du faible pouvoir infectieux de l'organisme; il ne faut pas oublier qu'on n'a jamais observé d'épizootie virale naturelle. Dans le cas de la tordeuse des bourgeons de

l'épinette, il importe donc d'augmenter l'infectivité. Il faut aussi s'arrêter aux problèmes techniques que pose la production des virus. La manipulation des insectes vivants, méthode actuellement en usage, est inefficace et coûteuse. Les petits insectes sont particulièrement difficiles à manipuler et il faudrait chercher d'autres méthodes. Il est possible que les techniques de cultures de tissus soient plus efficaces; les problèmes qu'il faut aborder ici comprennent la fragilité des cellules et la production de virus "aberrants".

Sur le plan économique il faut trouver des méthodes de production moins coûteuses utilisant des techniques soit *in vivo*, soit *in vitro*; les milieux pour la culture, en particulier, des tissus devraient coûter moins cher. À l'heure actuelle, les coûts sont au moins vingt fois trop élevés.

Peu de chose dans la société et dans l'environnement devrait s'opposer à l'emploi des virus bien que la possibilité d'oncogénicité puisse susciter des problèmes. Il faut aussi évaluer attentivement les possibilités de mutations.

Aucun virus n'a encore été homologué au Canada comme insecticide. La première demande pour combattre le diprion de LeConte a été formulée en mars 1981. Il faudrait présenter les données pour l'homologation d'autres virus dont l'efficacité est prouvée. Il faudrait continuer à collaborer avec le U.S. Forest Service à l'échange de renseignements.

IV Champignons: C'est surtout la production de certains champignons, leur survie sur le terrain et leur capacité de combattre des populations d'insectes par inoculation artificielle qui posent des problèmes d'ordre technique. Par exemple, il est possible que le climat soit trop sec pour permettre aux spores de germer, sauf peut-être à Terre-Neuve où il fait froid et humide. Il existe des exemples d'épizooties fongiques naturelles; récemment encore une épidémie de ce genre a atteint l'arpenteuse de la pruche à Terre-Neuve. Pour que cette lutte soit rentable, il faut surtout améliorer les méthodes de production et d'application. Pour la protection de la société et de l'environnement, il faut s'occuper de la question des troubles respiratoires et en particulier des réactions allergiques très répandues chez les humains; un problème du genre a été observé en Chine où on a utilisé des champignons pour combattre les ravageurs des forêts.

V Protozoaires: Ces organismes servent plus à affaiblir l'insecte nuisible qu'à le détruire. Il peut s'agir d'organismes très répandus, par exemple dans la tordeuse des bourgeons de l'épinette; ils peuvent donc agir en synergie avec d'autres agents. Ce qui importe avant tout c'est que la recherche utilise ces interactions

pour combattre les ravageurs. Si ces agents sont inoculés sur le terrain pour lutter contre les ravageurs (ceux qui oeuvrent dans ce domaine doutent qu'ils puissent être un jour utilisés seuls), il s'agirait de trouver des méthodes de production et d'évaluer l'effet d'une infection artificielle sur les populations d'insectes. Les problèmes d'ordre économique sont posés par la production et l'application; aucun problème concernant la société ou l'environnement n'a été relevé.

VI Divers: Les entomologistes forestiers canadiens se sont peu intéressés aux rickettsies et aux nématodes. Les travaux de recherche sur les rickettsies peuvent être dangereux pour les humains et on ne devrait entreprendre aucune recherche dans ce domaine. Toutefois, les nématodes ont un pouvoir létal important à l'égard de certains scolytes de l'écorce (Anon., 1978). Des essais récemment effectués à Terre-Neuve ont montré qu'un nématode (*Heterorhabditis heliothidis*) détruit la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Il faut effectuer des études épidémiologiques plus détaillées pour évaluer leur rôle naturel dans la lutte contre les insectes ravageurs des forêts.

c) Principales recherches nécessaires à l'égard des différents insectes ravageurs: On se rend compte, à la lecture du rapport national du RIMA sur les conditions qui prévalaient en 1980, qu'il importe de choisir les cibles des agents de lutte.

I Tordeuse des bourgeons de l'épinette: C'est le principal insecte ravageur des forêts au Canada. Il faudrait, de toute urgence, trouver un moyen de lutte à long terme. Dans l'Est du Canada, les pertes subies par suite de l'infestation actuelle dépassent cinq années de récolte de résineux. Le programme CANUSA sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette a donc deux objectifs (énoncés dans le Mémoire d'entente): combattre la tordeuse des bourgeons de l'épinette et protéger les forêts vulnérables. Pourtant, sur les 100 années-personnes consacrées chaque année aux recherches sur la tordeuse, pratiquement aucune n'est allouée pour des moyens de lutte directe à long terme. Baskerville énumère 15 tactiques pour combattre la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Baskerville, 1976). Seulement deux sont opérationnelles (des larvicides chimiques qui soulèvent des protestations dans la société, et le B.t.), mais elles servent à protéger les feuilles et doivent faire l'objet d'applications répétées; il ne s'agit pas de moyens à action prolongée. Parmi d'autres tactiques, l'utilisation de produits pour régler la croissance des insectes pourrait aussi protéger les feuilles, mais il faudrait d'abord résoudre les problèmes de toxicité pour des organismes non visés. Il semble peu probable que nous puissions faire appel à des organismes entomopathogènes trouvés sur le terrain pour la lutte à

long terme. Les virus, qui sont jusqu'à présent les agents les plus prometteurs, ne provoquent pas d'épizooties: ils agissent comme le B.t. ou les produits chimiques. La manipulation génétique de la tordeuse ou l'utilisation des phéromones ne semblent pas appropriées dans ce cas-ci comme moyen de lutte à long terme. La gestion étendue des peuplements d'arbres hôtes ou la modification du moment de l'éclosion des bourgeons semblent des possibilités encore plus lointaines d'ici 50 ans. En résumé, aucun des moyens de lutte que nous employons actuellement dans ces domaines ne peut être considéré comme prometteur à long terme.

Les manipulations de prédateurs et de parasitoïdes sont les seuls moyens de lutte qui restent. Les oiseaux sont les principaux prédateurs, mais il paraît impossible de chercher à en augmenter la population, par exemple en leur fournissant des nichoirs. L'augmentation du nombre des parasitoïdes indigènes est négligée peut-être parce qu'on trouve les coûts de production et d'application trop élevés; pourtant selon Baskerville ces moyens de suppression sont très efficaces. Le SCF ne prévoit pas effectuer de recherches même avec des parasitoïdes exotiques étant donné que, jusqu'à présent, les essais dans ce sens ont échoué: "le SCF a essayé à plusieurs reprises d'acclimater des parasites exotiques, mais aucune des 16 espèces n'a survécu" (Miller et Varty, 1975). Les données devraient cependant être examinées de plus près. Dans bien des cas, on n'a lâché qu'un petit nombre d'individus, parfois trois seulement (Anon., 1972) ou les lâchers n'ont pas été effectués au bon moment (Miller, 1963). En fait, pour les 16 espèces, les techniques de lâcher et de récupération ne sont pas suffisamment décrites et nous ne savons pas pourquoi ces essais ont échoué (Cameron et Renault, 1973). Sans s'arrêter à ces lacunes, beaucoup d'entomologistes estiment que la lutte contre des ravageurs indigènes au moyen de parasitoïdes importés est sans espoir: pourtant Pimentel donne une liste de succès (Pimentel, 1963), et dernièrement des chercheurs américains ont lutté contre un ravageur indigène des forêts de la Colombie au moyen d'un parasitoïde des oeufs importé des États-Unis qui provenait d'un hôte entièrement différent (Bustilla et Drooz, 1977). Comme le souligne Baskerville, beaucoup de scientifiques estiment que la technique a peu de chances de réussir bien que la plupart conviennent qu'il existe peu de données sur lesquelles on puisse fonder des conclusions définitives. En fait, il semblerait d'après ces données que le SCF n'a pas fait suffisamment d'efforts pour évaluer les possibilités de lutte. Il ne paraît guère avantageux d'essayer d'évaluer davantage ce qui a été fait – de toute évidence, il manque des données importantes. Ce qu'il faut maintenant, c'est prendre un nouveau départ sans préjugés pour éprouver ces méthodes de lutte. Les

lâchers sur le terrain devraient s'appuyer sur des études de la dynamique des populations (ravageur visé et agent de lutte) et pourraient comprendre de nouvelles approches telles que la stimulation de l'activité des parasitoïdes au moyen de kiaromones. Si le SCF avait de bonnes raisons d'entreprendre ces recherches dans le passé, elles sont encore plus valables aujourd'hui. Comme le souligne Baskerville, absolument personne n'est enthousiaste à propos de la protection à long terme au moyen d'insecticides chimiques, aussi doit-on songer à l'élaboration d'une autre approche.

II Scolytes de l'écorce: Ce sont les pires ennemis des conifères matures dans l'ouest du Canada. Même dans l'Est, le dendroctone du mélèze (*Dendroctonus simplex*) a détruit 500 000 $m^3$ de mélèzes laricins. La perte qu'aurait pu subir l'économie de la Colombie-Britannique en 1979 uniquement par suite des attaques du dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae*) est évaluée à 700 millions de dollars. Plus de 14 millions d'arbres, soit un volume brut de 8 millions de mètres cubes environ, ont été détruits sur une superficie de 156 000 ha (Anon., 1981b); ceci représente environ 10 % de la coupe permise annuellement pour toutes les essences en Colombie-Britannique. Les moyens de lutte recommandés comprennent le tronçonnage sanitaire des arbres et l'utilisation d'arbres-pièges appâtés. Ces moyens sont souvent destinés à faire gagner du temps dans l'espoir que des facteurs naturels agiront sur les infestations (Anon., 1981c). Une pulvérisation à la volée d'insecticides chimiques n'est techniquement pas possible, ce qui peut rendre les moyens de lutte biologique beaucoup plus attirants tant à court terme qu'à long terme. Toutefois, la biologie des populations de prédateurs, de parasitoïdes et d'organismes entomopathogènes n'a guère été étudiée (Anon., 1981b). On ne comprend pas très bien comment ces agents parviennent à limiter la population de scolytes pas plus que leurs effets en traitements curatifs ou préventifs. On a également négligé les importations de prédateurs et de parasitoïdes exotiques, et pourtant d'anciens rapports, provenant d'Allemagne par exemple, révèlent qu'il y avait 90 % de parasitisme chez certaines populations européennes de scolytes au moment de l'effondrement de la population (Wellenstein, 1954), mais il se peut que les parasites n'aient pas été les seuls responsables de cet effondrement. Ce désintérêt pour les prédateurs et les parasitoïdes est d'autant plus étonnant si l'on pense à la Nouvelle-Zélande qui a réalisé des colonisations prometteuses contre les scolytes de l'écorce du pin (*Hylastes ater*) à l'aide d'un parasitoïde de la famille des ptéromalidés et un prédateur de la famille des cléridés importés d'Autriche en 1975 (Milligan, 1978). Certains des renseignements les plus détaillés que nous possédons sur les prédateurs,

les parasitoïdes et les organismes entomopathogènes des scolytes ont été recueillis sur le dendroctone méridional du pin (*Dendroctonus frontalis*) aux États-Unis et pourtant, ici, on a rarement tenté d'utiliser ces connaissances (Thatcher *et al.*, 1980). Il en va de même des essais de lutte contre le dendroctone occidental du pin (*Dendroctonus brevicomis*) (Stark et Dahlsten, 1970)).

Les essais de répression effectués par le SCF au moyen d'organismes entomopathogènes ont porté principalement sur *Beauveria bassiana*. Il s'agit d'un champignon létal pour l'insecte, mais sur le terrain on n'a trouvé aucun moyen de s'assurer que l'insecte s'infecte. Pourtant on connaît l'exemple d'un très grand succès obtenu dans ce cas contre le dynaste qui attaque les cocotiers dans l'ouest de Samoa, en utilisant à la fois un virus et un champignon (*Metarrhizium anisopliae*). Le champignon a été répandu sur de vaste gîtes de ponte accessibles où il a combattu le dynaste avec succès, alors que le virus a été utilisé dans les endroits inaccessibles. Toutefois, même après une épizootie virale, il a encore fallu éliminer des populations de dynastes en lâchant des spécimens infectés par un virus (Marschall, 1980). Il semble que cela ait donné d'excellents résultats. Il est evident qu'il reste encore beaucoup de travail à faire dans le domaine de la lutte biologique contre les scolytes; les possibilités de succès semblent bonnes.

III Insectes des cônes et des graines: Ces ravageurs prennent de plus en plus d'importance sur le plan économique étant donné qu'ils nuisent au reboisement des forêts. Dans le cas du Douglas taxifolié par exemple, on a jugé que de 50 à 90 % des cônes ne pouvaient plus servir à la reproduction dans certaines régions de la Colombie-Britannique parce qu'ils avaient été attaqués par des insectes. Les chiffres relevés pour l'épinette d'Engelmann et l'épinette blanche en Colombie-Britannique sont semblables, alors qu'en Ontario, par exemple, de 18 à 55 % des cônes d'épinette noire examinés avaient été endommagés. Les seuls travaux en matière de lutte biologique que le SCF ait effectués dans ce domaine ont porté sur *Beauvaria bassiana*, mais il s'agit de travaux préliminaires. Nous avons besoin d'autres renseignements sur la biologie des insectes nuisibles. Ensuite, il faudrait entreprendre des études de faisabilité sur les méthodes de lutte biologique et d'autres méthodes. La stratégie de lutte intégrée contre les ravageurs des vergers à graines qui pourrait comprendre des moyens de lutte biologique devrait assurer une protection presque totale à cause de la valeur élevée des cultures et il faudrait aussi prévoir le traitement des zones adjacentes à ces vergers.

IV Tenthrèdes et diprions: Dans le passé, ces insectes se sont montrés particulièrement sensibles à la lutte biologique au point que la plupart ne causent plus de pertes importantes. Les travaux du SCF dans ce domaine devraient être regroupés, mais il semble qu'on ait peu de raisons d'étendre les efforts actuels. Toutefois, il faut tenter de prévoir les infestations qui pourraient encore se produire, car les tenthrèdes et les diprions ont entraîné la perte de sommes importantes. De fait, ces prédictions sont nécessaires pour la plupart des insectes qui peuvent ravager nos forêts.

V Arpenteuse de la pruche: Cet insecte a causé des pertes importantes bien que, à l'heure actuelle, des facteurs naturels, y compris *Winthemia occidentis*, une mouche parasite importée de Colombie-Britannique et une maladie causée par *Entomophthora*, en soient venus à bout à Terre-Neuve. Encore une fois, il faut prévoir les prochaines infestations pour établir des priorités en ce qui concerne les essais de lutte.

VI Livrée des forêts: Cet insecte et des espèces voisines ont défolié presque la moitié des bois durs vulnérables (surtout des peupliers) au Nouveau-Brunswick. Beaucoup de bosquets d'érables à sucre du sud du Québec ont subi une importante défoliation. Cet insecte semble particulièrement sensible aux variations climatiques (par exemple dans le nord de l'Ontario) ou au parasitisme (qui a entraîné un effondrement des populations en Colombie-Britannique). Il est également sensible au B.t. Il suffirait probablement que le SCF intervienne modérément au moyen d'un agent de lutte biologique si la menace sur le plan économique ou le désagrément pour le public devenaient importants.

VII Autres insectes: Si la liste des insectes susceptibles de causer des dégâts peut être considérablement allongée, leur importance relative sur le plan économique par rapport à celle des ravageurs dont nous avons déjà parlé rend la chose pratiquement inutile étant donné que les ressources du SCF sont limitées.

Il se produit régulièrement des infestations de chenilles à houppes du Douglas bien que, selon certains, ce phénomène ne se produise qu'aux confins du territoire où il croît (par exemple les zones plus sèches préférées par le pin ponderosa); le remplacement par d'autres essences peut alors sembler la solution logique à adopter. Le SCF a déjà élaboré un excellent système pour limiter les ravages de cet insecte; il comprend des pièges à phéromone pour le décompte des populations et un virus pour combattre les infestations. Il reste cependant à faire homologuer le virus pour pouvoir l'utiliser en pratique; cette démarche est urgente. Un autre insecte

important, la spongieuse, qui dévaste des forêts de bois durs dans le nord-est des États-Unis, a causé peu de dégâts jusqu'à présent au Canada. Il suffit, semble-t-il, pour le moment que le SCF demeure vigilant ou poursuive les quelques recherches en cours; encore une fois, il est nécessaire d'obtenir des prédictions fiables, surtout devant la menace, suivant de récentes observations, d'une infestation imminente dans certaines parties du Canada.

d) Stratégie en matière de recherche: Les recherches visant à évaluer le succès des techniques de lutte biologique doivent être soigneusement planifiées pour comprendre une consultation étendue et des rapports à tous les stades.

En ce qui concerne les organismes entomopathogènes, les étapes essentielles sont l'isolement du microorganisme, l'établissement de ses caractéristiques, des épreuves de virulence en laboratoire, la production, la formulation et les essais sur le terrain. Il faut continuellement prendre des décisions pragmatiques en ce qui concerne l'ampleur et la chronologie des recherches fondamentales (mode d'action, etc.).

La planification des introductions de prédateurs et de parasitoïdes est particulièrement complexe, et à cause des nombreux facteurs en jeu il faut, pour prendre des décisions, s'appuyer sur des bases empiriques plutôt que théoriques. Premièrement, il faut décider s'il faut ensemencer ou inonder le milieu des ravageurs avec des prédateurs ou des parasitoïdes indigènes ou importer des espèces exotiques. Des études sur l'épidémiologie du ravageur, son origine et l'établissement de modèles de dynamique de la population seraient utiles à cet égard. Si l'on choisit des prédateurs ou des parasitoïdes indigènes, il faut entreprendre des études de leur comportement ou de leur taxinomie ainsi que des techniques d'élevage. Il est nécessaire de surveiller les libérations d'insectes pour évaluer avec précision leur effet, peut-être en utilisant des modèles. Si l'on choisit d'utiliser des prédateurs ou des parasitoïdes importés, il faut décider de l'endroit où aller les chercher (climat, essences d'arbres, insecte nuisible, etc.), de la façon de procéder pour recueillir les spécimens, les expédier et (ou) les élever, comment vérifier la compatibilité avec l'hôte et l'environnement et comment les lâcher et surveiller l'effet des libérations (en déterminant si l'agent importé est établi et alors quelle est la portée de cette colonisation sur les dommages causés aux arbres en utilisant peut-être un modèle de dynamique de la population d'insectes). Il est évident que la planification du travail est tellement complexe que des consultations et des réévaluations fréquentes sont nécessaires pour que les recherches soient effectuées d'une façon efficace.

e) Transfert des connaissances techniques: Au Canada, c'est principalement le SCF qui effectue les travaux d'identification et de recherche sur les agents de lutte

biologique contre les ravageurs des forêts. En général, les entreprises, les associations ou les provinces ne disposent pas des ressources nécessaires pour entreprendre et coordonner des travaux de recherche en matière de lutte biologique d'une ampleur suffisante pour qu'ils soient efficaces. Toutefois, les entreprises et les provinces devraient s'occuper de l'aspect pratique de l'application des techniques de lutte sur le terrain. Elles devraient se charger surtout de la production de matériaux homologués ou de prédateurs et parasitoïdes destinés à l'exploitation. Pour réaliser cette répartition des responsabilités, il faut que le SCF puisse transmettre sa compétence technique et renseigner le public.

## 11. Recommandations pour renforcer le programme de lutte biologique du SCF

i) Organisation générale du programme

1. Que le sous-ministre adjoint du SCF énonce clairement l'orientation du programme, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du ministère; il devrait se prononcer sur l'importance qui doit être accordée à la lutte biologique et à la lutte intégrée contre les ravageurs dans le cadre de la recherche en matière de production des forêts.

2. Que la partie du budget consacrée aux recherches sur la lutte biologique pour la protection des forêts passe de 20 à au moins 25 %, pour ranimer les capacités du SCF dans le domaine des prédateurs et des parasitoïdes comme agents de lutte et répondre aux besoins urgents au moyen de techniques de lutte contre certains ravageurs mentionnés à l'alinéa 10 ii c.

3. Que les recherches en matière de lutte biologique soient intégrées dans un plan de recherche sur la gestion des forêts avec d'autres stratégies de lutte contre les ravageurs, en particulier des techniques de sylviculture. Il faudrait, entre autres choses, que le RIMA permette une évaluation des méthodes de lutte en même temps qu'une estimation des dégâts. Il faudrait aussi des évaluations des répercussions économiques.

4. Que les plans des programmes du SCF soient organisés de façon que les recherches en matière de lutte biologique décrites dans le présent document constituent une unité de travail distincte dans le programme de recherche en matière de protection des forêts.

5. Que les plans des programmes du SCF permettent de voir quelle proportion des travaux (dans le cas présent en matière de lutte biologique) est consacrée à chacun des ravageurs visés.

6. Que ce qui, dans les méthodes de lutte, touche à l'environnement et à la santé soit exposé explicitement dans les documents sur la planification dès le début du programme de recherche et que des fonds soient alloués pour obtenir les renseignements requis.

7. Que le plan comprenne une stratégie envisagée pour le transfert des connaissances techniques dans le public et le milieu industriel ou opérationnel. Ces renseignements devraient être spécifiques quand le moyen de lutte s'est avéré praticable.

8. Que l'établissement de modèles de la dynamique de populations d'insectes soit lié aux recherches en matière de recherche sur la lutte biologique particulièrement en ce qui concerne les prédateurs et les parasitoïdes.

9. Que tous les essais de lutte biologique entrepris par le SCF jusqu'à présent soient évalués en détail en fonction des succès remportés du point de vue technique, économique et social (l'ICLB prépare actuellement une publication à ce sujet).

10. Que les domaines de recherche sur les organismes entomopathogènes confiés à l'IRRF et aux centres régionaux soient définis pour plus d'efficacité; dans cet esprit, l'IRRF devrait faire plus de travaux de recherche fondamentale que les centres régionaux.

11. Que l'IRRF s'occupe, en consultation avec les centres régionaux concernés, de l'homologation et des aspects connexes de l'utilisation des agents de lutte (les organismes entomopathogènes dans le contexte actuel).

12. Que les scientifiques indiquent aux gestionnaires comment établir un lien plus étroit entre les recherches en matière de lutte biologique effectuées par le SCF et les travaux du même genre effectués par Agriculture Cnada, et si cela est possible avec les recherches effectuées par le U.S. Forest Service ainsi qu'avec des chercheurs dans les universités.

13. Que le CRFN, le CRFM et le CRFT-N retrouvent leur capacité d'effectuer des recherches sur la lutte biologique (telles que définies ici) pour au moins égaler les ressources du CRFP ou du CRFGL. Certaines ressources peuvent être mises en commun en fonction de la recommandation suivante.

14. Que l'on considère l'établissement de deux centres de compétence en matière de lutte au moyen de prédateurs et de parasitoïdes, l'un dans l'est du Canada et l'autre dans l'Ouest.

15. Que par l'intermédiaire de l'Administration centrale le SCF continue de s'intéresser à l'établissement d'installations au Canada pour la production d'agents de lutte biologique.

ii) <u>Les agents de lutte utilisés dans le cadre du programme</u>

a) Prédateurs et parasitoïdes

16. Qu'on ajoute au moins 10 années-personnes pour les recherches sur les prédateurs et les parasitoïdes pour redonner vie à ce programme et qu'il traduise mieux les possibilités relatives de cette méthode de lutte contre les ravageurs.

17. Que le RIMA soit utilisé pour vérifier a) si les essais pratiques d'établissement d'agents de répression ont été couronnés de succès et b) les répercussions de ces essais sur les dégâts causés aux arbres.

18. Que le SCF accorde plus d'aide à l'ICLB a) en demandant qu'on embauche un entomologiste forestier à plein temps à Delémont, b) puis en prévoyant engager jusqu'à 20 % de plus de fonds pour chacune des cinq prochaines années afin de financer les travaux de cueillette à mesure que les projets particuliers prendront de l'ampleur.

19. Que dans les documents de planification en ce qui concerne les importations de prédateurs et de parasitoïdes exotiques on envisage explicitement de recueillir des spécimens ailleurs qu'en Europe (on le fait automatiquement seulement pour les ravageurs exotiques provenant de pays non européens).

20. Que les scientifiques des services régionaux du SCF qui sont chargés des essais d'introductions soient encouragés à participer à la cueillette des spécimens pour qu'ils puissent connaître davantage la biologie des prédateurs et des parasitoïdes.

21. Qu'on fournisse les détails particuliers de la dynamique des populations de prédateurs et de parasitoïdes pour chaque essai de lutte.

22. Que l'Institut de recherche biosystématique d'Ottawa participe à chaque essai de lutte; sa participation devrait être indiquée dans les documents de planification où les hôtes ainsi que les prédateurs et les parasitoïdes, qu'il s'agisse d'espèces indigènes ou étrangères, devraient être identifiés.

23. Que lorsqu'on planifie des essais de lutte dans les centres régionaux on consulte des spécialistes d'autres régions du pays et qu'on suive une progression établie comme celle qui est décrite dans le présent exposé. Il faut inclure toutes les étapes depuis le choix des méthodes d'introduction aux méthodes d'élevage, à la surveillance des introductions et à l'évaluation des résultats.

24. Que dans les documents au sujet de l'organisation des projets on indique comment les connaissances pratiques des personnes sur le point de prendre leur retraite seront transmises à leurs remplaçants.

25. Que le CRFL réexamine ses recherches sur les fourmis rouges comme prédateurs de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, surtout du point de vue des répercussions de cette méthode pour la société.

26. Que les travaux sur les prédateurs et les parasitoïdes des tenthrèdes et diprions soient unifiés et menés à terme.

27. Que le CRFP évalue les travaux de lutte contre les scolytes de l'écorce au moyen de prédateurs et de parasitoïdes.

28. Qu'on entreprenne la lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au moyen de prédateurs et de parasitoïdes. Une partie du travail comprend la recommandation suivante.

29. Qu'on choisisse une région isolée où sévit actuellement le ravageur (deux possibilités ont été mentionnées précédemment) pour éprouver la technique de lutte par invasion massive. Il faudrait indiquer les coûts d'élevage et d'application.

30. Qu'on entreprenne des études de faisabilité au sujet de la lutte biologique contre les insectes des cônes et des graines une fois qu'on aura compris la biologie des insectes.

b) Organismes entomopathogènes

31. Que l'on continue à analyser le problème d'ordre technique et économique que l'utilisation pratique du B.t. pose, qu'on détermine quels travaux de recherche et de développement sont requis et qu'on passe à l'action.

32. Qu'on alloue temporairement plus de fonds pour les travaux visant à rendre le B.t. plus fiable et plus rentable dans la pratique, particulièrement contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette; de toutes les méthodes de lutte biologique à court terme c'est celle qui est rendue au stade le plus rapproché d'un usage étendu et les administrateurs forestiers en ont un besoin urgent.

33. Que l'on consacre plus de ressources aux travaux sur la sélection des souches et les méthodes de production pour augmenter la virulence du B.t.; on pourrait peut-être accorder des contrats dans ce sens.

34. Qu'une grande partie des recherches effectuées à l'heure actuelle sur les virus des tenthrèdes et des diprions soit réorientée et porte sur les moyens d'accroître l'infectivité et la virulence des virus de la tordeuse de bourgeons de l'épinette.

35. Qu'on demeure vigilant au sujet des travaux sur les cultures de tissus particulièrement en ce qui a trait à a) la production d'un virus puissant et b) la réduction du coût de production.

36. Qu'on entreprenne des recherches intensives pour trouver des hôtes plus gros pour la culture *in vivo* du virus de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

37. Qu'on présente à Agriculture Canada des requêtes pour l'homologation des virus dont l'efficacité est établie et dont l'innocuité est raisonnablement prouvée: ceci est particulièrement important si l'on prévoit les utiliser dans un avenir rapproché, par exemple en Colombie-Britannique contre la chenille à houppes du Douglas qui commence à causer des ravages.

38. Que la main-d'oeuvre affectée aux travaux sur les pathogènes fongiques soit maintenue et axée davantage sur le travail pratique visant à contaminer les ravageurs en vue de leur éradication.

39. Que les recherches sur les protozoaires pathogènes portent surtout sur la contamination du ravageur sur le terrain pour le combattre. L'accent doit être mis sur les interactions synergétiques avec d'autres agents de lutte.

40. Qu'on identifie clairement dans les documents de planification les problèmes d'ordre social ou écologique que peut poser l'emploi des champignons ou des protozoaires et qu'on indique comment on entend les résoudre (l'évaluation des virus est déjà en cours, mais elle arrive beaucoup trop tard dans le programme de recherche, de l'avis de Santé et Bien-être social Canada), particulièrement en ce qui concerne les propriétés allergènes des champignons.

41. Que le SCF engage d'abord un nématologiste par contrat pour étudier les épizooties et les possibilités de lutte contre les scolytes de l'écorce ou la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

42. Que le CRFP évalue les recherches sur la lutte contre les scolytes de l'écorce au moyen d'organismes entomopathogènes.

c) Métabolites fongiques

43. Que le CRFM réévalue les possibilités d'application de ses recherches sur les métabolites fongiques pour lutter contre les maladies des arbres.

iii) Ravageurs visés: (Ce qui suit est essentiellement un regroupement des recommandations faites au chapitre des agents; nous en soulignons quelques-unes ici, mais elles ne sont pas numérotées parce qu'elles l'ont déjà été plus haut.)

a) Tordeuse des bourgeons de l'épinette

Que le programme de lutte biologique comprenne des méthodes à long terme. L'accent devrait être mis sur a) des prédateurs ou des parasitoïdes et b) la manipulation des virus.

b) Scolytes de l'écorce

Que la lutte biologique, particulièrement en vue d'une protection à long terme, soit évaluée et qu'on examine a) des méthodes d'auto-infection avec des organismes entomopathogènes et b) les techniques de lutte faisant appel à des prédateurs ou à des parasitoïdes.

c) Tenthrèdes et diprions

Que les recherches sur les prédateurs et les parasitoïdes soient regroupées et qu'on mette un terme à la plupart des projets; qu'on fasse homologuer les virus pouvant servir comme agents de lutte.

d) Insectes des cônes et des graines

Qu'on évalue les possibilités de lutte biologique une fois qu'on aura compris la biologie des insectes.

e) Autres insectes

Que les données que nous possédons actuellement sur le virus de la chenille à houppes du Douglas et le virus de la spongieuse (en particulier le premier) soient présentées sans tarder aux fins d'homologation. Comme on met l'accent sur la restauration forestière, il faudrait accorder une attention spéciale aux ravageurs des pépinières et des plantations.

iv) Nouvelle répartition possible des ressources

Lorsqu'il s'agit de formuler des recommandations en vue de changements, il importe de se demander:

Insectes: Quels sont les insectes à combattre, et est-ce que la lutte biologique peut être utile?

Agents de lutte: Existe-t-il des moyens de lutte biologique nouveaux (pour le Canada) qu'il faudrait éprouver pour connaître leur potentiel?

Terrain d'essai: Où devrait-on effectuer ce travail?

Pour nous, les principaux insectes nuisibles sont sans aucun doute la tordeuse des bourgeons de l'épinette et les scolytes de l'écorce. Nous avons déjà expliqué pourquoi la lutte biologique offre une solution qui vaut la mise en oeuvre énergique de ressources pour augmenter nos capacités au moyen de prédateurs et de parasitoïdes. Les insectes qui attaquent les cônes et les graines font de plus en plus de ravages et nous devrions explorer les moyens de lutte biologique qui s'offrent à nous au moins pour établir si une méthode en particulier peut être appliquée une fois que l'on connaît mieux la biologie des insectes. En ce qui concerne les endroits où les travaux doivent être effectués, ce sont les laboratoires qui se trouvent les plus proches des endroits où sévit le ravageur qui devraient entreprendre les travaux sur le terrain. D'un point de vue scientifique, il est préférable de concentrer les énergies d'une grande équipe dans un ou deux laboratoires que de les éparpiller. C'est ce qu'on a pensé il y a dix ans lorsqu'on a décidé de concentrer une partie

des recherches sur la protection au CRFP en y envoyant du personnel du CRFN. L'équipe pourrait travailler à de nouveaux problèmes selon les besoins du moment (par exemple la gestion forestière intensive).

Une méthode de lutte n'a pas du tout été explorée dans les forêts canadiennes, à savoir la libération massive de prédateurs ou de parasitoïdes, et pourtant elle a remporté un succès manifeste dans d'autres pays. Il faudrait que nous y voyions le plus tôt possible, mais il faudra y consacrer beaucoup de ressources pour arriver à des conclusions pratiques. Deux endroits semblent convenir à ce travail. Il s'agit dans un cas du CRFGL et de l'IRRF à cause de la compétence particulière de cet institut dans le domaine de l'élevage des insectes, bien qu'il faudrait des installations plus importantes. L'insecte visé pourrait être la tordeuse des bourgeons de l'épinette pourvu qu'on puisse trouver des petites enclaves isolées (il est possible que la plus proche se trouve dans le nord du Manitoba d'après le rapport national de 1980 du RIMA, bien que l'Ontario se montre particulièrement intéressé à vérifier cette approche). Il s'agirait de prévenir des irruptions de populations essentiellement endémiques et faire des essais dans des endroits (choisis par le RIMA) qui peuvent être l'épicentre d'infestations. L'autre endroit pourrait être le CRFP. Les méthodes de lutte biologique intéressent particulièrement la Colombie-Britannique et sa topographie favorise souvent l'attaque des insectes dans de petites enclaves. De plus, cela permettrait la création d'installations pour l'élevage des insectes dans l'ouest du Canada (elles ne seraient pas aussi perfectionnées que celles de l'IRRF et ne feraient pas double emploi avec les installations actuelles); advenant l'établissement dans l'Ouest d'un centre de compétence en matière de prédateurs et de parasitoïdes, les installations d'élevage seraient des plus utiles.

Nous formulons donc les recommandations suivantes dans deux conditions:

a) Changement minimal pour un programme renforcé

Le tableau 10 donne une idée du réaménagement minimal des ressources qui devrait être effectué pour renforcer les recherches en matière de lutte biologique au sein du SCF. Ces changements sont fondés sur les observations suivantes:

- Les ressources consacrées aux travaux sur les prédateurs et les parasitoïdes ne sont pas suffisantes étant donné les succès déjà obtenus (tableau 8).
- Les ressources affectées aux travaux sur les champignons, bien qu'elles paraissent considérables étant donné le peu de succès obtenu (tableau 8), devraient maintenant être concentrées sur le terrain, par exemple à Terre-Neuve.

- Les moyens de lutte biologique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette et les scolytes de l'écorce n'ont pas été convenablement explorés (section 10 ii c).
- Un bon nombre des spécialistes dans le domaine des prédateurs et des parasitoïdes prendront bientôt leur retraite (section 9 iv).
- Les projets de lutte biologique du CRFN, du CRFM et du CRFT-N sont négligeables (section 9 i).
- Il ne se fait aucune recherche sur la lutte biologique à long terme contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette (tableau 6, section 10 ii c) bien que la lutte soit l'élément clé de l'accord CANUSA et que le SCF consacre plus de 100 années-personnes à d'autres recherches sur la tordeuse.
- Les ressources consacrées aux tenthrèdes et aux diprions sont trop importantes par rapport à l'état actuel des pertes (tableau 6, section 10 ii c).
- Il faudrait, pour un temps, accorder plus d'importance aux travaux sur le B.t. afin de terminer les essais et la mise au point d'une arme de lutte opérationnelle qui soit sûre et rentable (section 10 ii b).
- Il faut étudier la possibilité d'utiliser des nématodes contre les scolytes de l'écorce et éventuellement contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette (section 10 ii b).

Il faut remarquer que pour être équitables les ressources pour les recherches sur les prédateurs et les parasitoïdes ont été réparties dans différentes régions du pays. Le tableau 10 fournit un aperçu des besoins et des situations qui prévalent à l'heure actuelle. Ce qu'on espère dans l'ensemble c'est que chaque groupe régional fonctionne comme une petite équipe qui essaie de voir comment la lutte biologique peut être pratiquée suivant les situations qui se présentent, comme les problèmes nouveaux que posent les ravageurs lorsque la gestion forestière est pratiquée de façon plus intensive. Il serait préférable (et scientifiquement plus efficace) de réunir la plus grande partie des ressources dans deux centres, l'un dans l'Ouest et l'autre dans l'Est. Ces équipes pourraient alors s'occuper des besoins à mesure qu'ils se présentent et agir comme centres de compétence. Le tableau 10 fournit une aperçu des besoins actuels dans les régions de l'Est et de l'Ouest.

b) Changement préféré pour un programme renforcé

Pour réaliser une évaluation globale des libérations massives, il faudrait faire une nouvelle répartition des ressources tel qu'indiqué au tableau 10 et consacrer en plus huit années-personnes à l'élevage des insectes, aux lâchers sur le terrain, à la surveillance,

à l'établissement de modèles et aux études économiques en rapport avec les libérations massives.

Il faudrait prévoir augmenter le personnel de l'IRRF pour les recherches sur les organismes entomopathogènes. Tout l'aspect biotechnologie du programme pourrait immédiatement prendre de l'ampleur si l'on ajoutait au moins six années-personnes pour les travaux de biochimie, de microbiologie, de génétique microbienne et de fermentation. Ceci comprend les travaux requis pour améliorer la productivité du B.t. au moyen de techniques de fermentation bien établies (ce sont des recherches que n'effectue pas l'industrie, surtout pas pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette) mais peut-être aussi des techniques de génie génétique pour transférer à *Escherichia coli* le plasmide qui régirait la production d'endotoxine dans le B.t., ou la mise au point d'anticorps monocloniques pour mesurer la toxicité. On peut également augmenter la virulence des virus par intervention génétique. Dans d'autres domaines, deux années-personnes pourraient être affectées à la génétique des insectes pour que le SCF reprenne ses travaux dans ce sens et deux années-personnes pourraient être ajoutées pour les études sur le mode d'action des virus en particulier.

**Tableau 1**

Activités en matière de lutte biologique dans chaque établissement de recherches du SCF*

| CRFP | A-P | Total (milliers de $) |
|---|---|---|
| Champignons entomopathogènes<br>- scolytes de l'écorce | 1,9 | 53,3 |
| Virus entomopathogènes<br>- chenille à houppes du Douglas | 0,8 | 20 |
| Prédateurs ou parasitoïdes<br>- porte-case du mélèze<br>- tenthrède du mélèze<br>- arpenteuse tardive | 1,0 | 29,6 |
| CRFN | | |
| Virus entomopathogènes<br>- livrée des forêts | 0,3 | 10 |
| CRFGL | | |
| Prédateurs ou parasitoïdes<br>- tenthrède du pin d'Écosse<br>- tenthrède du mélèze | 4,0 | 110,7 |
| Maladie hollandaise du l'orme | 0,3 | 10 |
| CRFL | | |
| Bactéries et virus entomopathogènes<br>- principalement la tordeuse des bourgeons de l'épinette (B.t.)<br>- diprion de Swaine (virus) | 4,0 | 141,2 |
| Prédateurs et parasitoïdes<br>- principalement la tordeuse des bourgeons de l'épinette (fourmis rouges)<br>- tenthrède du sorbier<br>- spongieuse | 3,4 | 102,5 |

**Tableau 1 (suite)**

| CRFM | A-P | Total (milliers de $) |
|---|---|---|
| Prédateurs et parasitoïdes<br>- tenthrède du mélèze<br>- perce-pousse européen du pin | 0,4 | 10,0 |
| Organismes entomopathogènes<br>- général | 0,2 | 5,0 |
| Moyens de lutte contre les maladies des arbres<br>- antagonistes des métabolites fongiques | 1,1 | 27,6 |
| CRFT-N | | |
| Prédateurs ou parasitoïdes<br>- tenthrède du pin d'Écosse<br>- tenthrède du sorbier<br>- porte-case du bouleau<br>- petite mineuse du bouleau | 0,8 | 22,0 |
| IRRF | | |
| Bactéries entomopathogènes<br>- B.t. surtout contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette | 5,0 | 151,7 |
| Champignons entomopathogènes<br>- surtout contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette et l'arpenteuse de la pruche | 5,0 | 130,0 |
| Protozoaires entomopathogènes<br>- surtout contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette | 2,0 | 48,6 |
| Virus entomopathogènes<br>- tordeuse des bourgeons de l'épinette<br>- tenthrèdes et diprions<br>- chenille à houppes du Douglas<br>- autres ravageurs à l'occasion | 10,5 | 246,8 |
| Cultures de tissus | 3,0 | 75 |
| Sérologie | 2,0 | 50 |
| Ultrastructure | 1,0 | 25 |
| Relevé des pathogènes | 1,0 | 18,5 |
| IFNP | | |
| Champignons entomopathogènes<br>- insectes des cônes et des graines | 0,2 | 6 |

* Source principale: Estimations faites en 1981-1982 d'après les plans de programmes pour 1980-1981.

**Tableau 2**

Pourcentage des fonds du SCF pour la lutte biologique reçu par chaque établissement et ressources allouées par année-personne (A-P)

| Établissement | % de la somme totale consacré à la lutte biologique | Milliers de $ moyens par A-P pour la lutte biologique* |
|---|---|---|
| CRFP | 8 | 27,8 |
| CRFN | 1/2 | 33,0 |
| CRFGL | 9 | 28,1 |
| CRFL | 19 | 32,9 |
| CRFM | 3 | 25,1 |
| CRFT-N | 2 | 27,5 |
| IRRF | 58 | 25,3 |
| IFNP | 1/2 | 30,0 |

* À partir du nombre total d'années-personnes et des budgets totaux pour les opérations, l'entretien et la rémunération pour les travaux de lutte biologique de chaque établissement.

**Tableau 3**

Nombre actuel d'années-personnes consacré par le SCF à la lutte biologique dans chaque établissement

| Établissement | Répression des insectes au moyen d'organismes entomopathogènes | Répression des insectes au moyen de prédateurs et de parasitoïdes | Lutte contre les maladies |
|---|---|---|---|
| CRFP | 2,7 | 1,0 | 0 |
| CRFN | 0,3 | 0 | 0 |
| CRFGL | 0 | 4,0 | 0,3 |
| CRFL | 4,0 | 3,4 | 0 |
| CRFM | 0,2 | 0,4 | 1,1 |
| CRFT-N | 0 | 0,8 | 0 |
| IRRF | 29,5 | 0 | 0 |
| IFNP | 0,2 | 0 | 0 |
| | 36,9 | 9,6 | 1,4 |

Source: Estimations pour 1981-1982 d'après l'exposé des projets pour 1980-1981.

**Tableau 4**

Nombre actuel d'années-personnes consacré par le SCF aux recherches sur les organismes entomopathogènes

| Établissement | Bactéries | Virus | Champignons | Protozoaires | Activités de soutien* |
|---|---|---|---|---|---|
| CRFP | - | 0,8 | 1,9 | - | - |
| CRFN | - | 0,3 | - | - | - |
| CRFGL | - | - | - | - | - |
| CRFL | 3,5 | 0, | - | - | - |
| CRFM | - | - | - | - | 0,2 |
| CRFT-N | - | - | - | - | - |
| IRRF | 5,0 | 10,5 | 5,0 | 2,0 | 0,7 |
| IFNP | - | - | 0,2 | - | - |
| | 8,5 | 12,1 | 7,1 | 2,0 | 7,2 |

* Culture de tissus, biologie cellulaire, recherche sur les ultrastructures et relevés des pathogènes.

**Tableau 5**

Nombre d'années-personnes alloué aux recherches sur la lutte biologique au SCF par agents de lutte

| Agent | % du nombre d'A-P alloué à la lutte biologique | % du nombre d'A-P après répartition des activités de soutien* |
|---|---|---|
| Bactéries | 18 | 21 |
| Virus | 25 | 29 |
| Champignons | 15 | 19 |
| Protozoaires | 4 | 8 |
| Activités de soutien* | 15 | - |
| Prédateurs et parasitoïdes | 20 | 20 |
| Maladie des arbres | 3 | 3 |

* Les activités de soutien, qui englobent la culture de tissus, la biologie cellulaire, les recherches sur les ultrastructures et les relevés de pathogènes, ont été réparties entre les différentes catégories d'agents (bactéries, virus, champignons et protozoaires) dans la dernière colonne.

**Tableau 6**

Nombre d'années-personnes alioué aux recherches en matière de lutte biologique au SCF par ravageurs visés

| Ravageur | % de l'effectif affecté à la lutte biologique |
|---|---|
| Tordeuse des bourgeons de l'épinette | 57 |
| Tenthrède du pin d'Écosse | 11 |
| Diprion de LeConte | 7 |
| Spongieuse | 5 |
| Scolytes de l'écorce | 4 |
| Chenille à houppes du Douglas | 4 |
| Tenthrède du mélèze | 3 |
| Maladies des arbres | 3 |
| Tenthrède du sorbier | 2 |
| Porte-case du mélèze | |
| Arpenteuse tardive | |
| Livrée des forêts | |
| Perce-pousse européen du pin | |
| Porte-case du bouleau | 4 |
| Petite mineuse du bouleau | |
| Insectes des cônes et des graines | |
| Arpenteuse de la pruche | |
| Diprion de Swaine | |

**Tableau 7**

Budget du SCF consacré à la lutte biologique comme pourcentage du budget affecté à la protection des forêts

| Établissement | Budget pour la lutte biologique comme pourcentage du budget pour la protection des forêts* | Budget pour la lutte biologique comme pourcentage du budget consacré à la protection des forêts moins le RIMA |
|---|---|---|
| CRFP | 5 | 8 |
| CRFN | 2 | 3 |
| CRFGL | 9 | 20 |
| CRFL | 4 | 8 |
| CRFM | 5 | 8 |
| CRFT-N | 4 | 6 |
| IRRF | 43 | 43 |
| IFNP | 1 | 1 |
| Tous les établissements | 15 | 21 |

* Nombre total de dollars pour la lutte biologique d'après le tableau 1.

Le nombre total de dollars consacrés à la protection des forêts est tiré de A concise summary of the Canadian Forestry Service research program (préparé en janvier 1981), un résumé rédigé à partir des plans de programmes pour 1980-1981. Le programme de protection des forêts englobe ici les recherches sur les incendies de forêt, les recherches en pathologie, le RIMA, les recherches sur la lutte biologique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la lutte chimique contre les insectes, la lutte biologique contre les insectes et les recherches en entomologie en général. La composante lutte biologique fait partie de tous ces aspects du programme puisque ces domaines se recoupent.

**Tableau 8**

Rapports entre les recherches actuelles en matière de lutte biologique entreprises par le SCF par agents de lutte et succès antérieurs

| Agent | % du nombre d'A-P alloué au programme de lutte biologique par le SCF | Principaux succès remportés grâce aux recherches effectuées par le SCF |
|---|---|---|
| Bactéries | 21 | Bon nombre de lépidoptères ravageurs des forêts (efficacité irrégulière) |
| Virus | 29 | Diprion européen de l'épinette (avec des parasitoïdes)<br>Chenille à houppes du Douglas<br>Chenille à houppes blanches<br>Diprion de LeConte<br>Tenthrède du pin d'Écosse<br>Diprion de Swaine |
| Champignons | 19 | Aucun |
| Protozoaires | 8 | Aucun |
| Prédateurs et parasitoïdes | 20 | Diprion européen de l'épinette (avec un virus)<br>Tenthrède du mélèze<br>Diprion importé du pin<br>Papillon satiné<br>Porte-case du mélèze<br>Arpenteuse tardive<br>Tenthrède du sorbier<br>Perce-pousse européen du pin |
| Maladies des arbres | 3 | Aucun |

**Tableau 9**

Probabilité relative de réussites à venir

| Agent | Réussite technique* | Réussite économique | Acceptation par la société |
|---|---|---|---|
| Prédateurs et parasitoïdes | Bon | Varie suivant les situations** | Bonne |
| Bactéries | Bon | Bon | Moyenne |
| Virus | Bon | Moyen | Moyenne |
| Champignons | Mauvais | Moyen | Moyenne |
| Protozoaires | Mauvais | Moyen | Moyenne |

* Par comparaison avec des réussites antérieures (tableau 8).

** Variable suivant qu'ils s'agit de lâchers massifs, d'inoculations du milieu ou d'une augmentation modérée de la population.

**Tableau 10**

Modifications du nombre d'années-personnes proposé dans le cadre des programmes de lutte biologique du SCF

| Endroit | Modification du nombre d'a-p | Besoins actuels ou passés | Moyen de lutte biologique employé* |
|---|---|---|---|
| CRFP | +2 | Scolytes de l'écorce | Prédateurs et parasitoïdes<br>Organismes entomopathogènes |
| CRFN | +1 | Scolytes de l'écorce | Prédateurs et parasitoïdes |
| CRFGL | +3 | Tordeuse des bourgeons de l'épinette | Prédateurs et parasitoïdes |
| | -2 | (tenthrèdes et diprions) | (Prédateurs et parasitoïdes) |
| CRFL | +2 | Tordeuse des bourgeons de l'épinette | B.t. |
| CRFM | +4 | Tordeuse des bourgeons de l'épinette | Prédateurs et parasitoïdes |
| CRFT-N | +1 | Tordeuse des bourgeons de l'épinette | Prédateurs et parasitoïdes |
| | +1 | Tordeuse des bourgeons de l'épinette | Organismes entomopathogènes |
| IRRF | +2 | Tordeuse des bourgeons de l'épinette | B.t. |
| | +2 | Tordeuse des bourgeons de l'épinette | Virus |
| | -2 | (tenthrèdes et diprions) | (virus) |
| IFNP | 0 | | |

* Les postes ne sont indiqués que par agents de lutte biologique sans mentionner si l'on a besoin de taxinomistes, de personnes chargées de l'établissement de modèles, de parasitologistes, etc.

## Bibliographie

Allen, G.E., C.M. Ignoffo & R.P. Jaques. 1978. *Microbial control of insect pests: future strategies in pest management systems.* Natl. Sci. Found., U.S. Dep. Agric., Univ. Fla. workshop.

Anagnostakis, S.L. 1981. Biological control of chestnut blight. *Science* 215:466.

Anon. 1962. *Biological control of spruce budworm.* Commonw. Inst. Biol. Control Tech. Comm. 2:75.

Anon. 1975. *Pest Control: An assessment of present and alternative technologies.* Natl. Acad. Sci., Washington, DC.

Anon. 1977a. *New innovative pesticides: An evaluation of incentives and disincentives for commercial development by industry.* Stanford Res. Inst., Menlo Park, CA.

Anon. 1977b. *Department of Environment Policy Statement on Aerial Spray Programs for Forest Protection, Dec. 1977.*

Anon. 1978. *Biological agents for pest control: Status and prospects.* Report of a special study team. U.S. Dept. Agric., Washington, DC.

Anon. 1980a. Proceedings of workshop on insect pest management with microbial agents: recent achievements, deficiencies, and innovations. Boyce Thompson Inst., Ithaca, NY.

Anon. 1980b. *Operational trials against the Douglas-fir tussock moth with chemical and biological insecticides 1975-1976.* Can. For. Serv. Inf. Rep. BC-X-20.

Anon. 1981a. *Feasibility study for a biological control production facility.* Schultz Int. Ltd. Vancouver, B.C.

Anon. 1981b. *Position paper on mountain pine beetle problems with special reference to the Rocky Mountain parks region.* Can. For. Serv. Pac. Forest Res. Cent.

Anon. 1981c. Minutes of interagency meeting on the mountain pine beetle. Vancouver, B.C. April.

Anon. 1981d. *Biotechnologie: un plan de développement pour le Canada.* Ministère des Approvisionnements et Services, Canada. Cat. ST 31-9/1981F.

Baker, K.F. 1980. Microbial antagonism-the potential for biological control. Pages 327-348 In D.C. Ellwood, J.N. Hedger, M.J. Latham, J.H. Slater, and J.M. Lynch, editors, Contemporary microbial ecology. Academic Press, NY

Baker, K.F. & R.J. Cook. 1974. Biological control of plant pathogens. Freeman, San Francisco, CA.

Baskerville, R. et al. 1976. Report of the task-force for evaluation of budworm control alternatives. Prepared for the cabinet committee on economic development, Province of New Brunswick, Fredericton, N.B.

Bennett, F.D. 1980. Advances in insect pest control. II Arthropods for biological control of forest pests and weeds. Eleventh Commonw. For. Conf., Trinidad and Tobago.

Berryman, A.A. & L. Safranyik, editors. 1980. Proc. Second IUFRO Conf. on dispersal of forest insects, evaluation, theory, and management implications Can. For. Serv. and U.S. Dep. Agric.

Bustillo, A.E. & A.T. Drooz. 1977. Cooperative establishment of a Virginia (U.S.A.) strain of Telenomus alsophilae on Oxydia trychiata in Colombia. J. Econ. Entomol. 70:767.

Cameron, M.D. & T.R. Renault. 1973. Recent introductions from Japan for biological control of spruce budworm. Marit. Forest Res. Cent. Intern. Rep. M-75.

Carrow, J.R. 1981. Insect protection and management research. Submission to the Industrial Assessment of Silviculture Research, Pulp and Paper Research Institute of Can., Pointe Claire, Que.

De Bach, P. 1964. *Successes, trends and future possibilities.* Page 673 *in* P. De Bach, editor. Biological control of insect pests and weeds. Chapman and Hall, London, England.

De Bach, P. 1974. *Biological control by natural enemies.* Cambridge, London.

Harper, J.D. 1974. *Forest insect control with* Bacillus thuringiensis. Auburn University, Auburn, AL.

Harris, P. & R. Cranston. 1979. An economic evaluation of control methods for diffuse and spotted knapweed in western Canada. *Can. J. Plant Sci.* 59, 375.

Huffaker, C.B. & P.S. Messenger. 1976. *Theory and practice of biological control.* Academic Press, London, New York, NY.

Huffaker, C.B., editor. 1980. *New technology of pest control.* John Wiley & Sons Inc., London, New York, NY.

McNamee, P.J., J.M. McLeod & C.S. Holling. 1981. *The structure and behaviour of defoliating insect/forest systems.* Inst. Resour. Ecol., Univ. B.C., Vancouver.

Marschall, K.J. 1980. *Rhinoceros beetle project.* Proc. Workshop on insect pest management with microbial agents. Boyce Thompson Inst., Ithaca, NY.

Marsden, J.S., G.E. Martin, D.J. Parkham, T.J. Ridsill & B.G Johnston. 1980. *Returns on Australian agricultural research: The joint IAC - CSIRO benefit cost study of the CSIRO division of entomology.* Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Canberra, Australia.

Miller, C.A. 1963. Parasites and the spruce budworm. Page 228 *in* R.F. Morris, editor. The dynamics of epidemic spruce budworm populations. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 31.

Miller, C.A. & I.W. Varty. 1975. Biological methods of spruce budworm control. *For. Chron.* 51:150.

Milligan, R.H. 1978. *Control of pine bark beetle.* For. Timber Ins., New Zealand, 29, 8 p.

Munroe, G. 1971. *Status and potential of biological control in Canada.* Commonw. Inst. Biol. Control Tech. Comm. No. 4:213:255.

Norton, G.A. & C.S. Holling, editors. 1976. Proc. Conf. on pest management. Int. Inst. Appl. Syst. Anal., Laxenburg, Austria.

Ordish, G. 1976. *A short history of pests and control.* Scribner's, New York, NY.

Pimentel, D. 1963. Introducing parasites and predators to control native pests. *Can. Entomol.* 95:785.

Ridgeway, R.L. & S.B. Vinson, editors. 1977. *Biological control by augmentation of natural enemies.* Plenum, Press, New York, NY.

Rishbeth, J. 1971. *Biological control for root diseases of trees.* *In* V.J. Nordin, editor, Biological Control of forest diseases. Fifteenth IUFRO Congr., Gainesville, FL.

Schacht, A.T. 1981. *Record of decision.* 1981-85 Cooperative Spruce Budworm Management Program for Maine, Spruce Budworm Management Program USDA-FS-NA-81-01.

Simmonds, F.J. 1967. *The economics of biological control.* J. Royal Soc. Arts 115:880.

Smith, R.B. & A. Funk. 1980. Assessing *Nectria macrospora* as a biological control agent for hemlock dwarf mistletoe. *Bimon. Res. Notes* 36:11.

Stark, R.W. & D.L. Dahlsten. 1970. *Studies on the population dynamics of the western pine beetle.* Univ. Calif., Div. Agric. Sci.

Strobels, G. 1981. *Use of* Pseudomonas syringae *to control Dutch elm disease.* Proc. Symp. and Workshop on Dutch elm disease, Winnipeg, Man. Dep. Nat. Resour.

Thatcher, R.C., J.L. Searcy, J.M. Coster & G.D. Hertel, editors. 1980. *The southern pine beetle.* USDA FS Tech. Bull. 1631.

Van den Bosch, R. 1975. Biological control of insects by predators and parasites. *Env. lett.* 8:5.

Van den Bosch, R. & P.S. Messenger. 1973. *Biological control.* Intertext Educational Publishers, New York, NY.

Wellenstein, G., editor. 1954. *Die grosse Borkenkaferkalamitat in Sudwestdeutschland 1944-1951.* Gesamtherstellung, Ulm.

Wicker, F. 1978. *Biological control of tree diseases.* Proc. 26th Annu. West. Int. Forest Dis. Workshop, Tuscon, AZ, Oct. 24-28.